La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1881

DEUXIÈME VOLUME

PARIS

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

10, CITÉ ROUGEMONT, 10

—

1881

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

JUILLET 1881

N° 7

Pendant le mois de juillet les questions suivantes ont été traitées :

1° *Souscription ouverte pour la construction, à Newcastle, d'un collège qui portera le nom de collège Stephenson, devant servir à l'enseignement technique.* (Séances des 1er et 15 juillet, pages 36 et 57.)

2° *La Meunerie* (Lettre de M. Kremer sur la). Séance du 1er juillet (page 36.)

3° *Formules de résistance des matériaux*, de M. le Dr Weyrauch. Communication de MM. Tresca (H.), Marché, Brüll et Seyrig. (Séances des 1er et 15 juillet, pages 39 et 57.)

4° *Frein Westinghouse*, par M. Morandiere. (Séance du 1er juillet, page 48.)

5° *Élection d'un membre du Comité*, en remplacement de M. Demimuid, décédé. (Séance du 1er juillet, page 55.)

Pendant le mois de juillet, la Société a reçu :

De M. Fauquet, membre de la Société, un extrait du compte rendu des séances du 4e Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, donnant le *Résumé historique des*

modifications et des économies réalisées de 1863 à 1879, pour la production et l'emploi de la vapeur utilisée comme force motrice.

De M. Quéruel, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage : *Méthode de calcul applicable aux diagrammes des machines à vapeur avec Tables de densité et de volumes de la vapeur sous différentes pressions.*

De M. F. Weil, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure : *Nouveaux procédés ayant pour but de revêtir les métaux d'une couche adhérente et brillante d'autres métaux.*

De M. Le Cyre, membre de la Société, un exemplaire du Rapport de M. le colonel Sebert, sur ses *Télémètres répétiteurs.*

De M. Revin, membre de la Société, un exemplaire de sa Note sur sa *Machine porte-rails.*

De M. Gottschalk, membre de la Société, un exemplaire du travail de M. Bradford-Leslie, ingénieur au chemin de fer de l'Inde Anglaise, sur un *Nouveau projet de chemin de fer du Pas-de-Calais.*

De M. Théodore Belpaire, membre de la Société, un exemplaire d'une *Etude sur la marche des crues et sur l'influence des travaux de rectification d'approfondissement et d'élargissement des cours d'eau.*

De M. Cotard, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure : *L'aménagement des cours d'eau.*

De MM. Ducher et Cie, éditeurs, un exemplaire du *Manuel des lois du bâtiment.*

De M. Vauthier, membre de la Société, un exemplaire de sa note : *Le percement du Simplon devant les Chambres et les intérêts de la France.*

De M. Fousset, membre de la Société, ingénieur à la Compagnie franco-algérienne, une note sur un *avant-projet sommaire d'un prolongement stratégique reliant Saïda à Geryville et à Tyout.*

De M. A.-H. Courtois, membre de la Société, un exemplaire d'une *Etude sur les machines centrifuges (pompes et ventilateurs).*

De M. Frédéric Stach, conseiller, ingénieur rural des Travaux publics de Vienne (Autriche), un exemplaire du *Rapport des experts sur le projet présenté par le professeur-docteur Carl Böhm pour le chauffage et la ventilation du nouvel hôtel de ville de Vienne.*

Les Membres nouvellement admis sont :

MM. Bréville, présenté par MM. Bobin, Chiésa et Huguet.
Boucher, — Cochelin, Legat et Tresca.
Burot, — Delaporte, Douau et Poillon.
Caillet, — Desgrange, Gottschalk et Molinos.
Coignet, — Armengaud, J. Pick et Robin.
Delattre, — Carimantrand, Levi et Mallet.
Dumas, — Delaporte, Huet et Mallet.
Finol, — Blot, Couriot et Deligny.
Foulhoux, — Carcenat, Carimantrand et Derennes.
Gouilly, — De Comberousse, Tresca (H.) et Tresca (A).
Jambille, — Contamin, Hamoir et Jordan.
Joubert, — Bourdon, Chevalier et Mallet.
Jouffret, — Delaporte, Debié et Germain.
Leblond, — Carimantrand, Mallet et Marché.
Lebrun, — Demimuid, de Comberousse et Le Roy.
Maniquet, — Debié, Delaporte et Germain.
Mays, — Carimantrand, Mallet et Marché.
Vieillard, — Chevalier, Vée et Vieillard.
Zevallos (de), — De Comberousse, Demimuid et Le Roy.

Comme Membres associés :

MM. Cantagrel, présenté par MM. De Comberousse, Gottschalk et Mathieu.
Lepaute, — Bayvet, Gottschalk et Mallet.
Wideman, — Bourdin, Decoudun et Tournade de Noaillat.

CONGRÈS D'ALGER

EN AVRIL 1881

PAR M. LOUIS RICHARD

SECTION DU GÉNIE CIVIL

MESSSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

Vous m'avez fait l'honneur de me déléguer pour vous représenter au Congrès réuni à Alger, le 14 avril dernier, par l'Association française pour l'avancement des Sciences.

J'ai suivi toutes les séances avec le soin que me dictait votre confiance, et que m'inspiraient mon dévouement et mon affection pour vous. Je viens vous en rendre compte. Avant de quitter Marseille, la grande et belle ville, dont chaque voyageur admire l'activité et la richesse, j'ai dû l'examiner au point de vue de l'ingénieur, et dès lors, porter mes regards sur ses bassins qui constituent un grand port, le plus grand port de France ; il a droit à la sollicitude de tous ceux qui se préoccupent d'améliorer une des sources de la fortune publique, les ports de commerce.

J'ai bien parcouru le port de Marseille, mais j'arrive trop tard pour vous en parler, car, en mon absence, vous avez examiné avec le soin que vous consacrez à toutes vos discussions, et notamment à celles qui ont trait à l'intérêt général, la question des ports de Marseille ; je tomberais dans les redites en rouvrant la discussion si bien soutenue par MM. Marché, Roy, Douau, Hauet, Cantagrel, Hersent, aussi ne le ferais-je pas. Elle sera d'ailleurs forcément reprise par notre camarade Dupuy, qui vient de terminer de grands travaux au port de Marseille, et qui vous donnera les renseignements les plus précis et les plus autorisés sur la situation et sur les projets qui intéressent Marseille.

Je vous demanderai seulement la permission de vous dire mon opinion sur certains points qui m'ont frappé. J'estime que la première chose à faire, avant de songer à faire de nouveaux bassins à Marseille, c'est de doter les bassins et les quais actuels d'engins et d'appareils mécaniques, qui manquent absolument à toutes les manutentions. On est tristement impressionné, de voir la manutention des 4 millions 1/2 de tonnes, qui passent annuellement par les ports de Marseille, exclusivement livrés, comme il y a vingt-cinq ans, à l'autocratique corporation des dix mille portefaix, qui ne permettent pas que l'on touche à leurs privilèges, qu'on se passe d'eux, et qui font encore la loi au commerce. Il est nécessaire d'en finir avec ces défenseurs acharnés de l'intérêt privé, et de munir les quais, sur toute leur longueur et dans tous les sens, de voies, de grues et d'appareils de toute sorte dont l'usage diminuera beaucoup le prix de la manutention de la tonne, ainsi que le temps de déchargement des navires, et de fait, agrandira les ports, puisque, dans ce même temps, il pourra s'y présenter le double de navires.

Ce premier point acquis, on verra dans quelles limites il sera nécessaire d'agrandir les bassins actuels; mais pour le jour où il sera démontré que cet agrandissement est absolument nécessaire, je me permets d'émettre une opinion favorable aux ports Nord; car j'espère bien les voir un jour reliés par l'étang de Berre et le canal de Bouc avec la navigation du Rhône. Sur ce point encore, M. Dupuy vous donnera une opinion bien digne d'attention.

Ceci dit, sur les ports, je n'ai rien de particulier à vous signaler sur les travaux de voieries, d'alimentation en eau, d'assainissement de la ville de Marseille; les progrès se continuent, dans les errements que vous connaissez; je voudrais avoir à vous annoncer la désinfection du vieux port, mais son état paraît devoir persister éternellement comme souvenir du vieux Marseille, parce qu'il reçoit continuellement des immondices, et n'en évacue pas. Il y a bien une drague en vue sur le vieux port, mais la faire manœuvrer, ce serait jeter la peste dans la ville. Il n'y aurait que des chasses d'eau qui pourraient avoir un effet utile, mais la solution n'est pas facile.

Par contre, je vous signalerai avec plaisir la bonne installation des tramways et surtout le type des voitures légères qui les sillonnent; elles ne se composent que d'un châssis portant des banquettes à claire-voie posées sur ressorts, et couvertes d'un toit. La voiture est ouverte

de tous côtés, et l'on y monte, et l'on en descend très aisément. Le prix de la course n'est que de dix centimes. Aussi le public s'en sert pour le moindre déplacement, et les voitures, qui sillonnent Marseille et la banlieue dans tous les sens, ne désemplissent pas. Deux chevaux seulement traînent cinquante personnes. J'estime qu'il y a là comme une critique des lourdes machines inventées par notre Compagnie des Omnibus de Paris, et un exemple à imiter.

Après ce rapide examen nous avons quitté Marseille pour nous embarquer sur un de ces beaux bateaux de la Compagnie transatlantique, que vous a si bien décrits M. Jules Gaudry, et dont il n'a pas vanté avec excès la belle installation. La machine du bateau l'*Abd-el-Kader*, est du type Compound. Elle développe 450 chevaux effectifs; pour 1,400 chevaux de 0,75 kilogrammètres, elle consomme 150 kilogrammes de houille par mille marin (1,852 mètres) pour une marche de 12 à 14 milles par heure.

La manœuvre du gouvernail s'y fait avec cet admirable instrument, le servo-moteur de notre camarade J. Farcot, qui permettrait à un enfant de gouverner le plus gros des navires, sans le moindre effort. Le servo-moteur de Farcot est maintenant installé sur tous les navires de l'État.

Arrivé sur le sol africain à Oran, nous n'avons guère souvenir, jusqu'à Alger, que d'impressions de voyageur qui ne peuvent avoir leur place ici. Cependant, vous me permettrez de vous signaler, comme fait d'intérêt public, l'extension considérable que prend la culture de la vigne dans cette contrée. Les cultures ordinaires, dans cette province d'Oran, souvent désolée par la sécheresse, ont peine à s'y développer, tandis que la vigne moins avide d'eau y pousse à merveille, et donne des résultats très largement rémunérateurs.

L'industrie y trouverait aussi des produits à exploiter avantageusement, si l'eau y était plus abondante en toute saison, et si les combustibles y arrivaient à bon marché. L'alpha y vient en grandes quantités, et pourrait être utilisé sur place, au lieu d'être transporté au loin par ballots comprimés dont le transport comprend une grande quantité de matières inutiles, et par conséquent est coûteux.

L'asphodèle, autre plante qui pousse sans culture sur des surfaces considérables et qui n'a, par elle-même, que la valeur de l'arrachage, est propre à fournir de l'alcool qui devient d'excellente qualité après traitement. Il faudrait pouvoir installer sur place des distilleries, qui

arriveraient, sans aucun doute, à donner des produits supérieurs à très bon marché. Nous estimons, que pour procéder économiquement à cette fabrication il faudrait établir, sur les places où l'asphodèle vient en abondance, des usines de campagne, pour ainsi dire, qui donneraient les jus que l'on enverrait ensuite distiller et rectifier dans une usine centrale qui serait située près d'un port d'embarquement où l'on aurait l'eau et le combustible.

Il ressort de ces idées, qui auraient besoin d'être travaillées pour devenir pratiques, que des nécessités s'imposent dans cette province d'Oran, comme dans toute l'Algérie; avoir de l'eau et des moyens de transport. C'est-à-dire qu'il faut créer d'immenses réservoirs en tête des vallées pour emmagasiner les eaux torrentielles, faire des barrages, des citernes, des puits artésiens partout où ils seront possibles, planter des arbres en immense quantité, faire des routes et des chemins de fer. Si l'État fait tous les travaux qui ne peuvent venir que de son initiative et de sa puissance, s'il garantit ceux que l'industrie pourra entreprendre sans timidité ni craintes, l'Algérie offre un avenir de richesses à la France.

Je ne parlerai pas ici des réformes administratives et économiques à introduire en Algérie pour lui donner tout l'essor dont elle est capable; je serais incompétent sur ce sujet; mais je vous engagerai à prier mon ami Émile Trélat, qui était avec nous en Algérie, comme secrétaire général de l'Association française, de vous exposer, avec le charme de parole que vous lui connaissez, tout ce qu'il a vu et bien vu sur cette matière si intéressante.

Vous lirez aussi avec un grand intérêt les notices scientifiques, historiques et économiques sur l'Algérie, rédigées par les auteurs les plus autorisés, et publiées sous le patronage de l'Association française pour l'avancement des Sciences. La Géographie, la Minéralogie, la Géologie et la Météorologie de l'Algérie y sont étudiées et expliquées avec des détails très complets, ainsi que tous les éléments de la colonisation.

Il me serait impossible de vous en faire ici une analyse suffisante; mais je ne résiste pas au désir d'en extraire des renseignements et des chiffres qui vous feront bien juger de la situation actuelle de l'Algérie.

Géographie (par M. O. Mac-Carthy).—La superficie totale de ce qui constitue l'extrême Nord de l'Afrique, est de 140 millions d'hectares. comprenant le Maroc, l'Algérie et la Tunisie.

L'Algérie en embrasse 70 millions, dont 14 millions pour le Tell, 11 millions pour les steppes et le bourrelet Saharien, 45 millions pour le Sahara.

Le Tell est la région des pluies périodiques, des forêts, des grains et des fruits, le centre de la colonisation, le théâtre de l'occupation romaine. Sa largeur dans les parties que baigne la mer est en moyenne de 120 kilomètres, et arrive dans l'Est, sous le méridien de Constantine, jusqu'à 260 kilomètres.

La région des steppes et du bourrelet Saharien, est celle qui, sur un long espace de ses parties centrales, sépare le Tell du Sahara, et est constituée par des plaines de culture élevées, appelées aussi, avec raison, les hauts plateaux, isolées elles-mêmes du Sahara par une zone assez large de roches montagneuses, connue sous le nom de bourrelet Saharien. Ces roches sont fréquentées par de nombreux troupeaux.

Dans le Tell, en marchant de l'Ouest vers l'Est, on compte dix massifs montagneux différents, dont voici les noms avec celui de leurs points culminants et leurs cotes d'altitude :

1° Le massif Tlemsénien, qui doit son nom à la ville de Tlemsen; le Djebel-Tenouchfi (1,884 mètres).

2° Le massif de Tesséla, qui domine la ville de Sidi-Bel-Abbès et s'élève à 1,003 mètres.

3° Le massif Saïdien, qui prend son nom de la petite ville de Saïda; le Djebel-Krenifer, 1,246 mètres.

4° Le massif de l'Ouanchérich, enveloppé comme une presqu'île par le Chélif et la Mina; le Djebel-Ouanchérich, 1,991 mètres.

5° Le massif Algérien, dont la ville d'Alger occupe un des points limites; le Djebel-Zakkar; son point le plus haut, se dresse au-dessus de Milianah, à 1,580 mètres.

6° Le massif du Djurjura, connu sous la dénomination de Grande Kabylie, chargé de neige pendant l'hiver. Sa plus haute crête, le Djebel-Lella-Khredidja, à 2,317 mètres; c'est avec le Djebel-Chellilia, de l'Aurès, le point le plus élevé de l'Algérie.

7° Le massif Aumalien (de la ville d'Aumale), le Djebel-Dira, 1,800 mètres.

8° Le massif Sétifien; le Djebel-Babour, au voisinage du golfe de Bougie, 2,000 mètres.

9° Le massif Numidien, dont fait partie l'Edough, qui étend au-dessus de Bone ses vallées chargées de chênes, 1,004 mètres.

10° Le massif Africain, qui a une partie de sa surface en Tunisie. Le Serdj-El-Aouda, qui s'élève au-dessus de Guelma, à 1370 mètres.

Quant au Sahara proprement dit, sa surface onduleuse ne présente pas de points dépassant 500 mètres, et elle descend au Sud-Est de Biskra, canton du lac Melghir, à quelques dizaines de mètres au-dessous du niveau de la mer.

Il faut aussi citer les plaines, qui, toutes sont d'une fertilité proverbiale, et seront, dit l'historien, dans un avenir prochain, autant de greniers d'abondance.

1° La plaine de Zidour, auprès d'Aïn-Témouchen (département d'Oran).

2° La plaine de la Mleta, sur le bord sud de la Sebkha d'Oran.

3° Les plaines de l'Habra, traversées par les rivières du Sig et de Sidi-Bel-Abbès.

4° La plaine d'Eghris, au-dessous de Maskara, les plaines inférieure et supérieure du Chéliff.

5° La Mitidja, dont les riches terrains enveloppent le petit massif d'Alger.

6° La grande plaine du Béni-Sliman, entre Médéah et Aumale.

7° La plaine de la Medjana, au milieu de laquelle s'élève le Bordj-Bou-Ariridj.

8° Les plaines de Bone, qui couvrent plus de 100,000 hectares.

Enfin, il faut citer les Chott's, c'est-à-dire les bas-fonds plats, qui reçoivent les dernières eaux de certains bassins fermés; lesquelles viennent s'y perdre, s'y évaporer en les couvrant d'efflorescences salines.

Les Chott's les plus vastes sont ceux des hauts plateaux du département d'Oran, qui ont une superficie d'environ 226,000 hectares.

Hydrographie. — Les côtes de l'Algérie, ont un développement total d'environ 1,000 kilomètres. Comprenant dix ports principaux : Oran, Mers-El-Kébir, Arzew, Tenès, Alger, Bougie, Djigelli, Philippeville, Bone et La Cale.

La quantité d'eau que les pluies versent annuellement sur les terres algériennes, varie suivant les régions et les expositions. Dans la région

maritime, d'Oran et d'Aïn-Témouchent, où l'on a une moyenne de 500 millimètres, la quantité d'eau croît jusqu'à Alger où elle atteint 750 millimètres ; elle reste à peu près la même jusqu'à la Cale, excepté au voisinage du golfe de Bougie, où l'on constate une moyenne de 1,000 à 1,100 millimètres.

Dans l'intérieur du Tell, la quantité d'eau tombée est plus forte, surtout sur les hautes crêtes. Au Fort-National on a constaté 1,200 millimètres.

Dans les parties ouvertes, les pluies sont moins abondantes et varient peu. A Tlemsen, 700 millimètres, à Sidi-Bel-Abbès, 400 millimètres; à Mascara, 600 millimètres ; à Milianah, 650 millimètres ; à Dra-El-Mizan, 700 millimètres; à Tizi-Ouzou, 800 millimètres; à Sétif, 400 millimètres ; à Constantine et à Guelma, 600 millimètres ; à Batna, 400 millimètres.

Les hauts plateaux, les steppes d'alfa reçoivent à peine 150 millimètres; à Géryville, 200 millimètres ; à Laghouat, 300 millimètres; à Biskra, 250 millimètres.

Le Sahara, lui, n'a pas de pluies régulières; on y est entièrement soumis au régime des orages.

En résumé, en combinant les moyennes les plus modérées avec les superficies, on voit qu'il tombe, à la surface de l'Algérie, annuellement, environ 14 milliards de mètres cubes d'eau. La moitié est enlevée par l'évaporation, le reste s'en va par les ruisseaux et les rivières à la Méditerranée et dans les Chott's Sahariens.

Pour se faire une idée de la valeur des rivières, on peut les assimiler à certaines rivières de France.

Le Chéliff correspond à la Dordogne où à la Moselle, 500 à 530 kilomètres.

L'Oued-Sahel et l'Habra, à la Vilaine, 210 kilomètres.

Le Sig et la Seybouse, à la Somme, 190 kilomètres.

La Tafna, à l'Hérault, 135 kilomètres.

Climatologie. On distingue cinq climats :

Le climat maritime.

Le climat des contrées montagneuses du Tell.

Le climat des hauts plateaux.

Le climat du Sahara.

Un climat mixte.

Le climat maritime s'étend sur les pays plats ou légèrement montueux, qui avoisinent la Méditerranée. En automne, hiver et printemps, température variant de 4° à + 28°, moyenne + 17°,5. Climat humide.

Pour le climat des contrées montagneuses du Tell, la température varie de 5° à + 32°, moyenne + 16°,5.

Climat des hauts plateaux. Température variant de 7° à + 38° ; moyenne + 19°.

Climat Saharien. Température extrême, sous influence du rayonnement nocturne, la température descend à 6°, alors que dans la journée, il était à l'ombre rafraîchie des tentes, monté à + 50°.

Climat mixte, qui est celui des hauts plateaux de la province de Constantine, il participe du climat des parties montagneuses du Tell et de celui de la steppe, ainsi que le montre la végétation. Température moyenne + 18°.

Météorologie. — *Renseignements fournis par le Bureau central du service météorologique du gouvernement général de l'Algérie.* — Lorsque la pression barométrique à Alger persiste vers 762, l'oscillation diurne est très régulière ; la variation de la pression en 24 heures, est généralement de 2 à 3 millimètres, lorsqu'elle atteint 9 à 10 millimètres, elle indique une forte perturbation atmosphérique.

Dans l'intérieur, la variation du baromètre, atteint plus rarement encore des amplitudes aussi grandes.

La marche inverse du baromètre et du thermomètre, s'observe très bien en Algérie. Le baromètre baisse avec les vents du Sud, qui amènent la chaleur et le siroco ; il monte avec les vents du Nord et de l'Ouest, qui rafraîchissent l'atmosphère.

Le régime des pluies, en Algérie, a été minutieusement observé par M. Raulin, d'abord, par le service des ponts et chaussées et les médecins militaires ensuite. Les résultats sont ceux que nous avons consignés à l'article Hydrographie.

Géologie (par M. Pomel). — On peut définir en quelques mots la structure géologique du massif Atlantique. C'est un massif de 400 kilomètres d'épaisseur, de 800 à 1,000 mètres d'altitude, avec quelques chaînons dépassant 1,500 mètres, et deux s'élevant à 2,400 mètres

environ. Au sud de cette ride, de grandes surfaces planes forment le Sahara; vers le Nord, une mer à rivages plus ou moins abrupts, ayant à quelques milles de terre des fonds de 2,000 mètres et plus.

Cette grosse ride est formée de terrains secondaires, le jurassique n'émergeant franchement du crétacé que dans la région de l'Ouest.

Minéralogie industrielle. — L'Algérie est un pays producteur de minerais. Les Carthaginois, les Romains, les Berbères et même les Arabes, les ont toujours recherchés et exploités.

Cuivre. — A Gar-Rouban (frontière du Maroc), veine importante de pyrite, exploitée par les Romains, épuisée.

Aucune tentative n'a encore abouti dans la province d'Oran.

Dans la province d'Alger, sept mines sont concédées et contiennent du cuivre pyriteux et du cuivre gris. Oued-Taffilès, cap Tenès, Beni-Aquil et Oued-Kébir n'ont pas encore été exploitées. Oued-Allelah, Oued-Merdja et Mouzaïa, l'ont été plus ou moins; cette dernière d'abord brillante, s'est appauvrie.

Dans la province de Constantine, les gisements de l'Aurès n'ont pas encore donné de bons résultats. Aïn-Barbar est concédée, mais l'exploitation est abandonnée.

Plomb argentifère. — Constitue deux mines importantes, l'une à la frontière Tunisienne (Oum-Téboul), l'autre à celle du Maroc (Gar-Rouban).

Au cap Cavallo, près Djidjelli, est un autre gisement remarquable, dans une gangue de kaolin.

Zinc. — Abondamment répandu. Dans la province de l'Ouest, Mazis et Fillaoucen, sont deux mines importantes. Dans la province du centre, en outre des calamines inexplorées de l'Onanséris, on doit mentionner les blendes de Guerrouma et de la Sakamody. Dans la province de l'Est, l'importante concession de Hammam-N-Bails, fait partie du domaine de la Vieille-Montagne.

En bien des points le plomb est associé au zinc, et dans des proportions utilisables.

Fer. — C'est surtout ce minerai qui, en Algérie, donne lieu à des exploitations considérables.

La mine de Mokta-el-Hadid, près la ville de Bone, à laquelle elle est reliée par un chemin de fer de 30 kilomètres, transporte journellement au port de Bone, 15 à 1,800 tonneaux; ces minerais sont des oxydules très recherchés pour l'acier Bessemer, parce qu'ils contiennent environ 3 pour 100 de manganèse.

Il y a d'autres gîtes moins importants dans le voisinage d'Aïn-Mokra, à Aïn-Sedma et à Bougarou près Collo.

Un autre gisement considérable, que le chemin de fer qui doit se construire de Sétif à Bougie permettra d'exploiter, est celui des hématites brunes du Djebel-Anini.

Dans la province du centre, Gouraya, Témoulga, Djebel-Haddid de Tenès, Oued-Rouina, Zaccar, sont des gîtes importants d'hématite brune manganésifère.

Dans la province de l'ouest, les gîtes sont surtout importants entre Camérata et la Tafna, et le plus considérable, celui de Béni-Saf, fait partie du domaine de Mocta, et fournit journellement 3 à 400 tonnes.

Beaucoup d'autres minerais de fer, trop faibles en teneur pour être transportés, pourraient être exploités si l'on pouvait avoir du combustible et les traiter sur place.

Matériaux de construction. — Les pierres de taille, la chaux, les plâtres, sont abondants en Algérie, et peuvent donner lieu à des exploitations avantageuses. Il faut signaler les marbres du cap de Garde et du Filfila, de Palestro, de Tipaza, et ceux que l'on découvre près de Guelma.

On ne doit pas passer sous silence les onyx de Aïn-Tekbalet, les serpentines de Collo et de Madagre, les granites de Cherchell.

Sel. — Le sel est abondamment répandu; on exploite pour les besoins locaux les lacs salés de Relizane, d'Arzew et de Valmy. Il existe, dans le Sud, des montagnes inépuisables de sel gemme, Rassoul, Tadjerouna, Djelfa et El-Outaïa.

Eaux minérales. — Elles sont nombreuses, et ont une réputation méritée, presque toutes chlorurées sodiques, quelques-unes sulfureuses. Les principales sont Hammam-Meskoutin, près Guelma (ligne

de Bone à Guelma), Hammam-Rhira, près Milianah, Hammam-Bou-Hadjar, à l'ouest d'Oran.

Statistique. — Le chiffre total des ouvriers employés aux travaux des mines dépasse 3,500, dont 4/7 pour la province de Constantine.

Le nombre des appareils à vapeur, était, en 1878 :

Province de Constantine. . .	144 pour . .	8,290 chevaux.
— d'Alger et d'Oran. .	237 pour . .	20,700 —
Totaux. .	381 pour . .	28,990 chevaux.

Depuis tous ces chiffres se sont accrus.

Agriculture (par MM. Maris et Rivière). — L'Algérie occupe une surface de 70 millions d'hectares.

Le Tell, la région fertile, immédiatement colonisable, couvre 14 millions d'hectares.

La population européenne en 1881, est d'environ 350,000 habitants.

La population indigène qui comptait, à la conquête, près de 3,000,000 d'âmes, en possède aujourd'hui 2,400,000.

Avant 1830, la valeur du mouvement commercial de la Régence, était de 8 millions à peine. Aujourd'hui, en 1881, il atteint 425 millions.

Je voudrais pouvoir m'étendre sur l'étude des causes qui ont modifié ces chiffres; mais leur recherche demanderait un volume; l'analyse même en serait beaucoup trop longue ici, et je renvoie mes auditeurs à la note si complète de MM. Maris et Rivière. Je ne donne que des résultats.

Le principal produit de notre agriculture réside encore dans les grains.

A côté des céréales, nous devons signaler deux produits dus aux Européens, les farines et les légumes secs; la première exportation de farines s'est faite en 1853 pour 367 kilogrammes, en 1876, elle s'est élevée à 61,745 kilogrammes.

Les premiers légumes secs ont été exportés en 1852 pour 1,078,626 kilogrammes; en 1875 pour 10,039,124 kilogrammes.

Les tabacs ont progressé depuis 1867.

Le commerce des primeurs vers l'Europe a atteint en 1879, 2,221,707 kilogrammes.

Les industries se rattachant à l'agriculture sont encore en embryon; mais elles se développeront quand les usines pourront se créer. Tel est le teillage du lin et la sériciculture.

Mais la branche de notre agriculture qui a le plus grand avenir, c'est la viticulture.

Les plantations de vigne se développent aujourd'hui avec une grande activité dans les trois provinces. L'étendue des terres cultivées en vignes, dépasse 20,000 hectares.

Soit : 3,488 hectares pour le département de Constantine.
8,000 — d'Alger.
8,417 — d'Oran.

Actuellement 20,000 hectares, et les vins produits sont de bonne qualité.

Commerce. — Le développement commercial de la colonie s'accentue de plus en plus. Le tableau suivant donnera l'idée de la progression rapide :

ANNÉES.	IMPORTATIONS.	EXPORTATIONS.	TOTAUX.
	fr.	fr.	fr.
1830	5,000,000	1,500,000	6,500,000
1840	31,700,000	2,500,000	34,200,000
1851	99,400,000	16,600,000	116,000,000
1860	194,700,000	49,000,000	243,700,000
1876	213,532,396	166,530,580	380,062,976
1879	272,126,102	151,918,421	424,044,523

Les relations de l'Algérie, chaque année plus importantes, sont directes avec l'Europe, l'Afrique et l'Amérique. Soit à l'entrée, soit à la sortie les 80 pour 100 environ du mouvement commercial sont acquis à la métropole.

L'Algérie est arrivée aujourd'hui a procurer à la France un débouché annuel de plus de 200,000,000 fr., et à l'affranchir de la dépendance de l'étranger pour une valeur qui ne reste pas au-dessous de 120 millions. . . . .

Travaux publics. — Tous les résultats que nous venons d'énu-

mérer sont dus, en grande partie, aux travaux publics exécutés, soit dans les ports, soit sur terre, parce qu'ils ont procuré la facilité des transports.

Cinq débarcadères simples, un môle accostable de tous côtés, quatre mouillages couverts par des jetées, sept ports sont construits et livrés au commerce. Aussi de 1840 à 1879, le tonnage des navires arrivés en Algérie, s'est-il élevé de 344,469 à 1,354,883 tonneaux.

Le territoire de la colonie est desservi par un réseau de grande voirie se répartissant comme suit :

Routes nationales.	2,909	kilomètres.
— départementales.	1,316	—
Chemins de grandes communications. . .	4,982	—
— d'intérêt commun.	1,299	—
Total.	10,506	kilomètres.

Chemins de fer. — Considéré dans son ensemble, le réseau des chemins de fer d'intérêt général se compose : 1° d'un grand transversal partant de la frontière du Maroc, et se prolongeant parallèlement à la mer, par Tlemcen, Oran, Alger, Sétif, Constantine, Guelma, Duvivier, Souk-Ahras (frontière de Tunisie), jusqu'à Tunis, par Béja, Et 2° de quinze embranchements destinés à relier les principaux centres au grand transversal.

D'autres projets, sans compter celui du Sahara, sont encore à l'étude pour pénétrer dans le Sud.

Dès maintenant cinq Compagnies sont à l'œuvre, et 1,282 kilomètres sont en exploitation.

Cie P.-L.-M.	d'Alger à Oran.	426	kilomètres.
	de Philippeville à Constantine.	87	—
Ouest Algérien.	de Sainte-Barbe à Bel-Abbès.	52	—
Est Algérien.	de Constantine à Sétif.	156	—
	de Maison-Carrée (Alger) à l'Alma.	29	—
Bone-Guelma et prolongements.	de Bone à Constantine, par Guelma.	204	—
	dans la (Médjerda, Tunisie).	157	—
Franco-Algérienne.	d'Arzew à Saïda.	171	—
	Total.	1282	kilomètres.

Sont en cours d'exécution.

Est Algérien. — La lacune entre l'Alma et Sétif (ligne d'Alger à Constantine.

France Algérienne. — Le prolongement sur les plateaux au sud de Saïda.

Bone-Guelma et prolongement. — La section de Duvivier à Souk-Ahras, 54 kilomètres, va être livrée à l'exploitation à la fin du présent mois de juin; c'est une section remarquable par les travaux qui rappellent les traversées du Semmering et du Brenner.

Il ne restera plus à faire pour compléter la jonction de Bone à Tunis, que la section de Souk-Ahras à Guardinaou, 70 kilomètres environ, suivant la Medjerdah, et qui rappellera, comme difficultés la section de Duvivier à Souk-Ahras ; il y a lieu d'espérer qu'elle sera faite en deux campagnes.

Alors la Compagnie de Bone à Guelma, aura construit et livré à l'exploitation, depuis 1877, environ 500 kilomètres de chemins de fer offrant des difficultés grandes. C'est d'un bon augure pour ce qui lui reste à faire.

Les autres Compagnies travaillant avec la même activité, l'Algérie sera bientôt, en outre de son grand transversal, réunissant Tunis et Tanger par Alger, desservie par de nombreux et utiles embranchements.

Desséchements. — De grands travaux de desséchements, profitables à l'hygiène publique, en même temps qu'à la culture, ont été entrepris en Algérie. Les causes d'insalubrité existaient surtout près d'Alger et près de Bone, par la présence de marais pestilentiels. On les a fait disparaître par des desséchements, dans la Mitidja et aux portes de Bone jusqu'au lac Fetzara. On a fait de semblables travaux dans la province de Constantine et dans la province d'Oran, et partout les résultats ont été considérables.

Irrigations. — Nous avons dit que, par suite du déboisement universel, la majeure partie de l'eau d'hiver, coulant à la surface sans pénétrer dans les couches inférieures, afflue dans les rivières et va promptement se perdre à la mer. Il est donc nécessaire de reboiser d'abord, et ensuite de faire les travaux qui doivent avoir pour résultat de conserver ces eaux torrentielles, c'est-à-dire de construire des barrages en tête des vallées pour emmagasiner dans des réservoirs les

eaux hivernales, et compléter l'œuvre utile en employant ces eaux à l'irrigation.

Dès 1851, un officier du génie, M. de Malglaive, exécuta dans la gorge de l'Oued-Meurad, le premier barrage-réservoir d'Algérie.

Depuis, on a construit les barrages du Sig et de l'Habra, dans la province d'Oran et du Hamèz dans celle d'Alger. Tous les trois sont en maçonnerie, et ceux de l'Habra et du Hamèz, qui sont les plus importants, retiennent, l'un 35,000,000 et l'autre 14,000,000 de mètres cubes d'eau.

Ces importants et si utiles travaux ne se sont malheureusement pas multipliés, pour deux causes principales : la première, c'est la dépense considérable qu'exigent toujours ces travaux de retenue d'eau ; il appartient à l'État, et il est de son devoir, de ne pas s'arrêter devant cette considération, c'est à lui de prendre l'initiative de dépenses si indispensables à l'avenir de l'Algérie.

La seconde, c'est l'envasement qui se forme derrière les barrages-réservoirs par suite de la descente des sables et limons entraînés par les eaux ; le génie civil a trouvé le moyen de faire disparaître cette seconde cause de retard dans l'exécution de nouveaux barrages. On trouvera dans le récit des travaux du Congrès la description du procédé inventé par M. Martin Calmels, pour le dévasement des barrages-réservoirs ; l'expérience a sanctionné la bonté de ce procédé employé au barrage du Sig.

Il ne doit donc plus être possible d'invoquer une bonne raison pour retarder des travaux destinés à fournir à l'Algérie, l'eau, c'est-à-dire l'auxiliaire le plus puissant dont elle ait besoin.

Après ces généralités résumées un peu hâtivement, mais qu'il était impossible de passer sous silence, je reviendrai, Messieurs et chers Collègues, à vous parler de ma marche vers Alger, et du Congrès qui s'y est réuni.

D'Oran à Alger (420 kilomètres), le voyage se fait par le chemin de fer construit et exploité par la Compagnie P.-L.-M. ; rien de remarquable sur cette ligne, au point de vue technique ; elle traverse le pays sans travaux importants pour franchir les cols intermédiaires, les vallées du Sig, du Mina, du Chétif et de la Chiffa, pour arriver dans celle de la Métidja où se trouve Alger. Les vallées du Chéliff, de la Chiffa et surtout celle de la Métidja, offrent à l'œil, par leur culture, des spectacles aussi satisfaisants que les plus riches vallées de France.

L'arrivée à Alger a lieu sur le port même, où est établie la gare, dans de belles proportions, au milieu de la douane et du mouvement des marchandises.

Alger était le centre désigné de réunion des membres du Congrès pour l'avancement des Sciences (session de 1881).

Le Congrès s'y est ouvert le 14 avril, dans une séance solennelle, présidée par M. Chauveau, membre correspondant de l'Institut, directeur de l'École vétérinaire de Lyon ; la séance a été honorée de la présence de M. le Gouverneur général de l'Algérie, et de tous les hauts fonctionnaires de l'État et de la ville d'Alger; cette séance a pris un air de fête par la présence d'un public nombreux et sympathique.

M. le président Chauveau, à ouvert les travaux du Congrès par un discours longuement applaudi, où se trouvaient réunis les enseignements du savant et les élans du patriote, et après lui, M. le Maire de la ville d'Alger, a captivé son auditoire en souhaitant aux membres du Congrès une bienvenue chaleureuse, et en faisant ressortir éloquemment combien la présence de nombreux représentants de la Science, de l'Industrie et du Commerce, dans la colonie devait avoir d'importants résultats pour son avenir.

Après la séance publique, les membres du Congrès se sont réunis au lycée. Le Congrès s'est divisé en 16 sections, qui ont chacune nommé leur bureau, et dès le lendemain ont commencé leurs travaux. La liste des sections est la suivante :

1re et 2e sections.	Mathématiques.
3e et 4e —	Génie civil.
5e —	Physique.
6e —	Chimie.
7e —	Météorologie.
8e —	Géologie.
9e —	Botanique.
10e —	Zoologie.
11e —	Anthropologie.
12e —	Sciences médicales.
13e —	Agronomie.
14e —	Géographie.
15e —	Économie politique.
16e —	Pédagogie.

Le choix de la section à laquelle je devais m'attacher était indiqué; c'était celle du génie civil, puisque vous m'aviez fait l'honneur de me nommer votre délégué au Congrès. La réputation de notre chère Société, l'importance de ses travaux, y étaient connus, et m'y avaient précédé, et j'y fus accueilli avec grande faveur. Aussitôt, que M. Bouquet de la Grye, président nommé dès la dernière réunion du Congrès pour 1881, eut pris possession du fauteuil, je demandai la parole pour me présenter, comme assistant au nom de la Société des Ingénieurs civils, et bien faire ressortir les liens qui l'unissaient à une Société qui avait pour buts le progrès et l'avancement des Sciences. J'eus la satisfaction d'avoir été une émanation de vous-même; car, après mon allocution, et sur la proposition de M. Gobin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, à Lyon, je fus nommé à l'unanimité vice-président de la section du Génie civil; c'était un hommage rendu à vos mérites.

Je dois maintenant, mes chers Collègues, vous rendre compte des principales questions qui ont été traitées à la section du Génie civil; plusieurs sont très importantes, surtout pour notre Colonie; et il était juste, en effet, que chez elle, on s'occupât d'elle.

1° *M. Martin Calmels*, un de nos camarades de l'École centrale, a fait une communication *sur le dévasement des barrages-réservoirs*, en Algérie.

Je dépose, pour les archives de la Société, le compte rendu qu'il a bien voulu m'offrir, des expériences faites au barrage de Saint-Denis du Sig, en octobre 1879, par notre Collègue. Voici le résumé de la communication à la section du Génie civil sur les procédés et appareils de son invention.

M. Martin Calmels expose que la cause principale de l'envasement, est comme toujours, le déboisement des montagnes, qui permet l'entraînement du sable dans le lit des rivières. Il faudrait donc d'abord, pour lutter contre cet envasement, faire des reboisements qui seraient d'autant plus utiles qu'ils entretiendraient en même temps l'humidité du sol.

Étant donné que des envasements se produisent, quels moyens employer pour les détruire.

M. Martin Calmels, explique que le moyen principalement employé est la chasse par les eaux en vitesse. Mais ce moyen consomme un

volume d'eau considérable ; il est, par conséquent de difficile application en Algérie, où l'eau est rare.

Dès lors privé de cette ressource, M. Martin Calmels, imagina de remettre en suspension dans l'eau, afin d'éviter les accumulations, les premiers dépôts de vase qui commencent toujours à se former contre le barrage. Pour arriver à ce but, il fait pénétrer à l'amont du barrage, dans sa couche vaseuse, à l'extrémité d'une conduite de tuyaux, une lance percée de trous par lesquels il fait sortir à forte pression (4 atmosphères) de l'air comprimé venant d'un accumulateur alimenté par une locomobile. Sous l'effet de cette insufflation d'air comprimé, par une lance pénétrant d'au moins un mètre dans la vase, sous l'eau, il se produit une dispersion de la vase presque instantanée, et l'effet des bulles remontantes, dont le volume va constamment en croissant, donne lieu à une diffusion de la vase dans l'eau, sur un rayon d'une assez grande étendue et jusqu'à la surface, et finit par désagréger la masse entière. Dès lors, si l'on a pratiqué à la base du barrage des ouvertures, qui permettent le départ des eaux devenues limoneuses, ces eaux s'en vont en aval dans le lit de la rivière ; elles peuvent servir ensuite à l'agriculture, ou à actionner une petite turbine qui fabriquerait l'air comprimé nécessaire au dévasement.

Ce système a parfaitement réussi au barrage du Sig, sur des hauteurs de vase de 3 à 5 mètres; des procès-verbaux signés par les Ingénieurs du département, constatant ces heureux résultats, sont consignés dans le compte rendu que je mets sous vos yeux.

2° *M. Lamayresse*, ingénieur en chef des ponts et chaussées, en retraite à Alger, a lu un mémoire *sur le Régime légal des eaux en Algérie.*

La lecture de ce mémoire très important qui remonte à l'origine des plus anciennes coutumes musulmanes, et vient jusqu'à nos jours, à la réglementation du droit de propriété des eaux, par l'administration française, a donné lieu à un vœu émis par la section du Génie civil, tendant à ce qu'il soit constitué en Algérie, un service hydraulique chargé d'étudier les besoins et les moyens de conservation et de répartition des eaux. L'analyse de ce mémoire tout à fait juridique, serait difficile, mais il sera inséré *in extenso* dans le compte rendu du Congrès, et j'en aurai au moins un exemplaire dont je ferai hommage à la Société.

3° *M. Machegay* a fait une communication très détaillée sur *les Réseaux téléphoniques dans les grandes villes*. Je n'entrerai pas avec lui dans la description de tous les systèmes optiques, qui ont existé chez les anciens comme de nos jours, pour la transmission aérienne des sons ou des signaux. Je ne vous décrirai pas à nouveau tous les systèmes perfectionnés de la succession desquels est né l'admirable téléphone Bell, que vous connaissez tous. Mais j'insisterai avec *M. Marchegay*, qui dirige les installations téléphoniques à Lyon, sur les services que peuvent rendre ces installations dans les relations privées ou publiques. Chacun de vous les connaît et les apprécie; chacun de vous sait que ces relations s'établissent dans les villes, par transmission aérienne et souterraine correspondant à un Bureau central par lequel il n'est pas plus gênant de passer que de passer par un bureau télégraphique ordinaire. Il serait donc inutile de faire de la propagande parmi vous; ce serait prêcher des convaincus. Il suffit de rappeler la téléphonie au milieu de vous, pour vous faire savoir que le Congrès d'Alger, s'est entretenu de tous les procédés et de toutes les applications auxquelles elle peut donner lieu.

4° *M. Gobin*, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a d'abord entretenu le Congrès de l'installation aux gares de Lyon, des *Appareils d'enclanchements système Saxby et Farmer*. Vous connaissez les conditions de sécurité dans lesquelles ces appareils fonctionnent, en Angleterre et en France, je n'ai pas à vous les rappeler. Il n'y a qu'à louer *M. Gobin* de les avoir employés à Lyon. *M. Gobin* a ensuite vivement intéressé la section du Génie civil par une communication sur les *Egouts de Lyon*. Je résumerai sa communication en vous disant que *M. Gobin* a discuté et repoussé le déversement des matières à l'égout, parce qu'il n'admet pas que les lavages et chasses d'eau soient suffisants pour empêcher l'infection, il propose la suppression des fosses de vidange dans les maisons, et l'emploi des tinettes mobiles. Ce système paraît avoir prévalu, comme solution transitoire au moins, dans les conseils de la municipalité de Lyon.

Notre collègue, *M. Emile Trélat*, s'associant aux conclusions qui ont été si brillamment et si solidement établies ici par *M. Durand-Claye*, ingénieur de la ville de Paris, a combattu la solution proposée par *M. Gobin* pour Lyon. Il a bien voulu admettre la mesure comme transitoire, en raison du temps et des grandes dépenses nécessaires

pour réaliser par des masses d'eau considérables l'entraînement à l'égout et la purification par l'absorption du sol, mais il a réclamé avec énergie la réalisation la plus prochaine de ce *desiratum* si bien en harmonie avec les nécessités de l'hygiène publique. La section tout entière a paru partager l'opinion de *M. Trélat*, que je soutiendrai toujours pour ma part de toutes mes forces.

5° *M. Bergeron. Réforme de la voie permanente des chemins de fer.*

Notre collègue, *M. Bergeron*, a renouvelé devant la section du Génie civil, l'exposition du système de voie permanente, qu'il vous avait présenté dans la séance du 21 novembre 1878, et qui avait été combattu dans la discussion soutenue par plusieurs de nos collègues MM. Chobrzynski, Coquerel, Couard, Joyant, Hamers, Badois et Vauthier.

J'ai renouvelé devant la section, les objections que soulève le système de *M. Bergeron*, et j'ai ajouté que ce système ne me paraissait pas pratique.

1° Parce qu'il reposait sur l'emploi d'un ballast en sable encastré et pilonné dans des caissons, et que bien souvent les ingénieurs de chemins de fer n'avaient pas de ballast en sable à leur disposition.

2° Parce que le système de voie proposé comprenait un petit matéreil composé de pièces trop nombreuses, et qu'à cause de la multiplicité de ces pièces, il devait être d'un difficile entretien.

3° Parce que ce système à cause des tassements inégaux des remblais et du ballast lui-même, dans ses caissons devrait être instable.

4° Parce que ce système, étant instable et difficile à entretenir, ne pouvait se prêter à la circulation de trains rapides, qui exigent un matériel simple, lourd et immuable.

M. Bergeron ayant insisté sur la bonté de son système, et l'ayant surtout préconisé pour l'établissement du chemin de fer Trans-Saharien, il a été combattu par M. l'ingénieur des ponts et chaussées, à Alger, M. *Godard*, qui pense que pour ce chemin de fer, l'économie du bois au sable n'ayant pas de raison d'être, il faudrait proscrire tout emploi du bois, à cause de l'usure rapide qui le détruirait.

Convaincu par les faits dont j'ai l'expérience sur nos lignes de Bone-Guelma et prolongement, je me suis rallié tout à fait à l'opinion de M. l'ingénieur *Godard*, et je proposerais, sans hésitation, pour tout

chemin de fer en Algérie, où le bois est d'ailleurs rare, la voie avec traverses métalliques.

La question du trans-Saharien ayant été introduite, M. l'ingénieur *Godard*, en a pris prétexte pour faire une communication sur le rôle des sables dans l'exécution d'un chemin de fer trans-Saharien. Il fait observer que la mobilité du sable, sous l'influence des vents, proscrirait l'usage des déblais qui seraient vite comblés par le moindre coup de vent ; le chemin devrait être exécuté autant que possible suivant les dénivellations du sol, ou en remblais, et pour l'exécution de ces remblais, et de la couche de ballast, *M. Godard* fait observer que le moindre obstacle pouvant arrêter ce sable transporté par le vent, même sous une épaisseur considérable, il suffirait de labourer le sol pour que ses aspérités provenant du labour retiennent le sable, sur une assez grande hauteur pour former certains remblais et constituer le ballast. Si ce procédé pouvait réussir, il faciliterait assurément beaucoup la pose de la voie qui, pour bien faire, ne devrait pas exiger beaucoup de moyens de transports, et se placer pour ainsi dire, en allant devant soi.

M. l'ingénieur *Godard* a également fait remarquer que la construction des ponts sur le trans-Saharien, pour la traversée des rivières, devrait se faire sans maçonnerie, et uniquement avec des longrines reposant sur des pieux.

J'ai observé que ce procédé pourrait être utilisé en France et en Europe, et l'avait même été sur les chemins de fer des Charentes, par M. Love, pour la traversée de rivières dans le lit desquelles le sol solide était pour ainsi dire introuvable. Le procédé employé avait même été plus complet et plus rationnel, en ce sens que M. Love ne s'était pas servi de pieux, et avait fait reposer les extrémités de ses longrines sur des cadres en bois formant sommiers, que l'on pouvait relever avec des vérins, comme des traverses, au fur et à mesure des tassements de la voie. Cet exemple est bon à retenir.

6° *M. Emile Trélat* a entretenu la section *de la distribution de l'air et de la lumière dans les habitations urbaines.*

Notre Collègue s'est attaché à démontrer combien l'air et la lumière, si indispensables tous deux à la santé, à la conservation de la vue et par suite à la connaissance de la forme, étaient insuffisamment distribués et mal aménagés, même dans nos luxueux appartements moder-

nes, à cause de l'insuffisance des dimensions des fenêtres ou à cause des obstacles matériels, corniches, balcons, tentures intérieures, qui arrêtent l'entrée de l'air ou de la lumière.

Et *M. Trélat*, rappelant que *M. E. Becquerel* a dit quelque part, que sur un hectare et pendant une heure, le sol reçoit dans nos climats 11 milliards de calories, et que les emplois agricoles les plus perfectionnés n'en utilisent que 3,000,000,000, a, dans un langage fait pour convaincre, convié les architectes des villes, à sacrifier autant que possible, la forme à l'hygiène, et à donner dans la plus grande mesure à l'entretien de la vie animale, tout ce que n'absorbe pas la vie végétale. Espérons que l'invitation sera entendue; elle pourrait toutefois être un peu oubliée pour l'application dans les pays du soleil, où l'on sent le besoin de se mettre à l'abri de ses brûlures, et de chercher l'ombre.

7° *M. Chabrier* a introduit à la section la discussion sur les chemins de fer économiques, à voie étroite qui sont d'une application juste et sage, admise par tous les ingénieurs et basée sur ce principe, que dans la construction d'un chemin de fer, il faut proportionner l'instrument au travail à effectuer, et régler la dépense d'établissement sur le revenu probable. Nous sommes absolument d'accord sur ce point, avec notre collègue et ami Chabrier. Mais nous différons, vous le savez, avec lui, sur les moyens de réaliser le principe, et nous avons expliqué à Alger comme ici, comment et pourquoi nous pensions que la voie comme en bien des cas n'était pas la panacée universelle, et qu'il sera souvent préférable de conserver les avantages de la voie signalée large, dans les mêmes conditions d'économie que la voie étroite, en employant des rails et des véhicules légers, en rapport avec le trafic à desservir, et pouvant recevoir non pas les machines, mais les wagons des lignes concordantes. Nous pensons, et nous avons expliqué, que ce dernier système doit prévaloir en Algérie ou la ligne du grand Transversal, c'est-à-dire celle qui traversera toute l'Algérie parallèlement à la mer, de Tunis à Tanger, sur 1,200 kilomètres de longueur, est destinée, il faut le croire, à un trafic très important. Déjà du reste, les lignes d'Oran à Alger (420 kilomètres), d'Alger à l'Alma (29 kilomètres), de Sétif à Constantine (156 kilomètres), de Bone au Kroubs (203 kilomètres), qui font partie de ce grand Transversal sont à la voie normale, et il n'y a pas de doute que leurs prolongements ne s'exécutent dans les

mêmes conditions, par les diverses Compagnies qui en sont chargées. C'est également la pensée de M. Chabrier.

Quant aux lignes perpendiculaires à cette grande artère, les circonstances peuvent décider quelquefois en faveur de la voie étroite, mais nous rappellerons qu'on ne devra pas s'y décider par suite d'un système préconçu ; on devra se souvenir que les Anglais en sont aujourd'hui au regret d'avoir construit leur réseau de l'Inde à petite voie. Notre excellent doyen, *M. Bergeron*, qui vit au milieu des ingénieurs Anglais et connaît parfaitement leurs tendances toujours conformes aux intérêts de leur pays, n'a pas hésité à le déclarer à la section du Génie civil, à Alger.

Quant aux moyens d'exécuter les chemins de fer en Algérie, nous pensons, comme *M. Chabrier*, qu'ils ne peuvent l'être qu'avec la garantie de l'État. Les chemins de fer, les routes, tous les moyens de communication sont les plus puissants moyens de colonisation ; c'est à l'État qu'il appartient d'y appeler les capitaux, en leur donnant sa garantie ; autrement ils ne se porteront pas dans un pays où l'alea effraiera longtemps encore, bien que l'on s'accorde à reconnaître que l'avenir de la colonie est immense, et que le succès fait chaque jour des progrès considérables.

Sous l'impression de la nécessité, de voir aussi promptement que possible, se construire les chemins de fer de l'Algérie, la section a émis un vœu soumis à l'assemblée générale du Congrès, dont la rédaction a été confiée à *MM. Godard et Chabrier*, tendant à ce que toute facilité, de tout genre, soit donnée par le gouvernement à l'établissement des chemins de fer en Algérie, tant aux entreprises qui s'en chargeront qu'aux ingénieurs qui seront appelés à les contrôler.

Ce vœu, dont nous ne donnons que la substance, a été accepté à l'unanimité. Espérons qu'il sera fécond en bons résultats.

8° *M. le Colonel Fourchault* a présenté à la section, dans un récit épisodique, un rapport ayant pour but de démontrer la nécessité d'établir des villages défensifs en Algérie et des plans indiquant le mode d'établissement de ces villages. La base de son système est la réunion en un seul point de tous les bâtiments d'utilité publique, mairie, gendarmerie, écoles, etc., de manière à former dans le village une petite forteresse centrale où se réunirait la population en cas de danger.

Les plans et mémoires de *M. le Colonel Fourchault* ont été renvoyés au génie militaire. Ils empruntent aux circonstances actuelles un certain intérêt.

9° *M. Sebron* a fait à la section une communication *sur les cloisons étanches dans les navires;* il a facilement démontré les dangers que pourrait offrir, pour la stabilité du navire, le déplacement subit d'un navire est obtenu avec des marchandises ou des poids mobiles; de là la nécessité d'employer un lest liquide et de le loger entre des cloisons étanches. Ce procédé si simple est maintenant généralisé sur tous les navires, d'autant plus complètement que les cloisons étanches servent encore à préserver la machinerie et les soutes à charbon du navire.

10° *M. le Commandeur Betocchi*, savant ingénieur italien que vous comptez parmi les membres honoraires de la Société, a fait à la section du Génie civil, à Alger, l'exposé *des travaux faits sur le Tibre pour mettre Rome à l'abri des inondations.* En voici le résumé; mais avant de le commencer, je dois vous transmettre les remerciements de M. Betocchi qui s'est montré très heureux d'être admis parmi vous.

La largeur du Tibre dans la traversée de Rome est en moyenne de 100 mètres. Mais, dans certaines parties, le lit se réduit à 53 mètres. De là réduction de la section d'écoulement, et cause d'inondation. Une seconde cause du rétrécissement du lit et par suite d'inondation, c'est que le lit du fleuve est encombré par des barrages artificiels produits par des matériaux provenant de chutes de ponts, d'arcs de triomphe, etc. On a trouvé, en effet, dans ce lit des richesses archéologiques très importantes pour l'histoire de Rome. Le travail à exécuter a donc pour but de rendre au fleuve une section régulière, et comprend des dragages, des constructions de murs de quais, des régularisations d'aqueducs pour égouts, etc.

La consolidation de maisons importantes, comme celle de la Fornarina qui contient des peintures de Raphaël, a nécessité la construction de murs de quais dont les fondations, envahies par des sources souterraines d'un débit considérable, ont été très difficiles. On n'en est venu à bout que par l'emploi de l'air comprimé. Il n'y a encore que 600 mètres de ces murs de quais qui soient terminés, et l'on a déjà dépensé 12 millions. Ces travaux se font en aval du pont Sixto. On

projette aussi de grands travaux de rectification du Tibre, en amont de Rome; mais la crainte des maladies qui pourraient résulter des fouilles fait encore ajourner le projet.

11° *M. Feutrier* a exposé les progrès accomplis dans *la fabrication de la dynamite-gomme, dite gomme explosible de Nobel.* Cette gomme a, dit-il, une force explosible bien supérieure à celle de la dynamite ordinaire. M. Feutrier annonce qu'elle se manie sans danger.

12° *M. le Capitaine du génie Brocard* a entretenu la section *des plantations faites en Algérie par le service militaire.*

Tout le monde se rend compte de l'importance que peut avoir en Algérie le reboisement. C'est une question essentiellement liée à celle de l'aménagement des eaux et de leur conservation. Aussi tous les essais tentés sur les diverses essences de bois ont-ils un grand intérêt.

De 1837 à 1868, les essais ont été faits autour d'Alger sur des essences européennes. Les pins d'Alep et les mûriers ont seuls réussi; les ormeaux et les acacias ont péri; les chênes, les hêtres, les charmes ont végété; les platanes n'ont eu de succès que dans les endroits humides. Il ne fut fait pour ces essais qu'une dépense de 35,000 francs. C'était insuffisant eu égard à l'importance de la tentative.

A partir de 1869, les essais furent étendus et portèrent sur les essences australiennes, et notamment sur les espèces d'Eucalyptus. Elles ont parfaitement réussi, surtout l'espèce Eucalyptus Globulus qui pousse très vite et arrive en quelques années à une grande hauteur et à un gros diamètre, 15 à 20 centimètres.

En 1872, le général Farre donna une grande extension aux plantations d'Eucalyptus sur les terrains militaires, et depuis 1875 on a continué avec le même succès.

Nous pouvons ajouter que la Compagnie de Bone-Guelma cultive et emploie aussi l'Eucalyptus, sur une grande échelle, le long de sa ligne, et elle a constaté que cet arbre était un anti-fiévreux des plus énergiques. L'expérience en avait été faite antérieurement sur la ligne de Malaga (Espagne); des stations, presque inhabitables à cause des fièvres, ont été complètement assainies par la présence de l'Eucalyptus.

Il faut donc espérer que la culture de cet arbre s'étendra en Algérie.

Toutefois, il est juste de dire qu'on ne sait pas encore qu'elles seraient les qualités de l'Eucalyptus en tant que bois à travailler — et que M. l'Ingénieur en chef *Gobin*, selon un rapport qui lui en aurait été fait, reprocherait à l'Eucalyptus d'exercer sur le sol un drainage trop puissant — il reste donc au temps à se prononcer.

13° Un autre savant étranger, *M. le Dr William Siemens, F. R. S.*, a suivi l'exemple de M. le commandeur Betocchi, et est venu, comme lui, vivement intéresser la section en lui parlant de deux nouvelles inventions dont il est l'auteur.

La première est un four pour la production du gaz, dans lequel M. Siemens produit, par reproduction du principe qui semble le guider dans tous les appareils, une augmentation de température très élevée par le chauffage de l'air au moyen de la chaleur perdue. M. Siemens annonce que par ce four il convertit en gaz un poids de combustible trois fois plus fort que dans un four ordinaire, soit six tonnes par vingt-quatre heures au lieu de deux, et que, de plus, le gaz produit est de bien plus belle qualité.

La seconde invention exposée par M. Siemens est un bec à gaz, à flamme intensive entretenue par l'air chauffé, différant de celui de M. Frédéric Siemens, en ce sens qu'il n'est pas à courant renversé. Ce nouveau bec se compose spécialement d'une tige de platine recouverte d'une enveloppe de terre réfractaire placée au milieu de la flamme. L'air pénètre par le bas et sur les côtés dans la chambre de combustion par des plaques percées de trous et des plaques métalliques. Ce bec donne une économie de 40 pour 100 sur la consommation du gaz et une flamme beaucoup plus blanche.

14° *M. Trémaux* a décrit à la section un *procédé d'aménagement des eaux d'infiltration* qui permet d'utiliser par petites quantités, au fur et à mesure des besoins, les eaux provenant de terrains aquifères. Pour cela, au lieu de faire des saignées par lesquelles l'eau arrive abondamment et se perd souvent faute d'être emmagasinée ou utilisée immédiatement, M. Trémaux propose de recueillir les eaux au moyen d'une conduite en fonte posée dans un point convenable du bassin à desservir, et muni d'un robinet de prise d'eau et d'un clapet déversoir

automatique. C'est un système de captage qui vient s'ajouter aux systèmes employés jusqu'ici et qui varient selon les circonstances.

15° Notre collègue, *M. Bergeron*, a clos les travaux de la section du Génie civil en faisant une communication sur *la situation actuelle du tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre.* Il annonce que les puits creusés à 2 kilomètres du bord de la mer, après avoir traversés des couches aquifères, ont atteint la couche de craie grise compacte, où les pompes n'ont plus à enlever que 200 litres d'eau par minute.

La perforatrice du colonel *Beaumont*, adoptée sur la rive anglaise, permet de faire les galeries d'avancement à raison de 125 francs le mètre courant, non compris les frais d'épuisement d'abatage et les dépenses accessoires. En ajoutant tous ces frais, on estime que le mètre courant du tunnel coûtera 3,000 francs le mètre courant, et que le coût total des travaux atteindra 200 millions de francs.

Cette dépense sera-t-elle rémunératrice? Comment se fera l'exploitation du tunnel sous-marin? Avec quel système de machine, etc., etc. Autant de questions qui ne sont pas encore résolues, en admettant que le tunnel arrive à bonne fin.

Avant de clore la session, la section, conformément à son règlement, a nommé président, pour 1882, *M. l'Ingénieur en chef Gobin;* délégué au Conseil pour trois ans, *M. Hirsch;* et membre de la Commission des subventions, *M. Bouquet de la Grye*, président sortant.

Nous voici, Messieurs et chers Collègues, arrivés aux termes des travaux de la section du Génie civil. Vous voyez que le temps y a été bien employé, que les principales communications qui y ont été présentées et discutées portent toutes le caractère d'un ardent amour pour la colonie, et indiquent que les esprits sont en travail pour faire sortir de ses flancs les germes de prospérité et de richesse qu'elle contient. Jusqu'à ce jour, il faut le reconnaître et le proclamer malgré ses détracteurs, le régime militaire a beaucoup produit; à lui, conquérant, appartenait essentiellement l'initiative, surtout dans un pays où le fusil est encore l'*ultima ratio*. Mais à présent, l'air natal de France a pénétré en Algérie, les capitaux commencent à s'y acclimater comme les individus, le crédit se consolide; les instruments et machines perfectionnées s'y répandent; la main-d'œuvre y prend de la valeur; l'Arabe, le paresseux et fanatique arabe, aussi intéressé et avide du gain que fanatique, commence à comprendre qu'avant d'avoir

les bonheurs que lui promet Mahomet dans son paradis, il n'est pas mauvais d'avoir quelques *soldis* pour se procurer ici-bas un avant-goût des jouissances promises, et il commence à travailler et par suite à être moins bestial; il aura la conscience de sa dignité d'homme, le jour où le travail lui fera entrevoir des perspectives de bien-être et de sécurité pour lui et sa famille. Cela viendra, et cela viendra plus vite peut-être qu'on ne le pense, à présent que la civilisation a mis le pied en Algérie, accompagnée de ses sœurs, la science, l'agriculture, l'industrie, l'instruction, la morale.

J'ai vu des jeunes Arabes Kabyles de douze à quinze ans qui s'élèvent dans les idées nouvelles, qui parlent et écrivent correctement notre langue, étudient notre histoire, et qui m'ont ému en me parlant de la France qu'ils apprennent à aimer.

C'est à vous maintenant, mes chers Collègues, que revient l'empire; c'est au génie civil à prendre possession de l'Algérie, d'y développer toutes les forces de production que l'intérêt privé, fortifié par la science, sait mettre en jeu, d'y faire naître la confiance que vous avez si complètement et si légitimement conquise dans notre chère France. L'œuvre ne manque pas à l'ouvrier, et en l'accomplissant, comme vous le savez faire, en joignant vos efforts à ceux de l'Association française pour l'avancement des Sciences, à laquelle j'ai promis que vous enverriez de nombreuses adhésions, vous aurez fait beaucoup de bien, et vous aurez à votre tour conquis l'Algérie comme vous avez conquis la France.

Permettez-moi, en terminant, de rester enivré de ces belles perspectives, et de vous remercier encore de m'avoir fourni l'occasion de faire ce beau voyage qui les a fait naître. Je serai heureux si vous jugez que j'ai été à la hauteur de la mission très honorable que vous m'aviez confiée en me nommant votre délégué au Congrès d'Alger.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JUILLET 1881

Séance du 1er Juillet 1881.

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 juin est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Chéron (Louis), Drost (Jacques) et Picard (Firmin).

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. le maire de Newcastle, en faisant part à la Société de la célébration du centenaire de Georges Stephenson, a témoigné le désir de la voir participer à la souscription ouverte pour la construction, à Newcastle, d'un collège qui portera le nom de « Collège Stephenson, » devant servir à l'enseignement technique.

Le Comité a pensé qu'il était du devoir de notre Société de prendre part à cette souscription, et il a décidé qu'elle s'y ferait inscrire pour une somme de 1,000 francs (40 livres sterling).

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'il a reçu de M. Krémer la lettre suivante, complétant les explications qu'il a données sur la meunerie dans la communication qu'il a faite à la Société, le 17 juin dernier.

« Monsieur le Président,

« La lecture du procès-verbal m'impose le devoir d'entrer dans plus de détails sur la différence existant entre les produits de la mouture basse et ceux de la mouture haute.

« Les farines obtenues par la mouture basse, avec les blés indigènes, sont tellement fines qu'on les a dénommées *plates*, tandis que ces mêmes blés, traités par la mouture haute, fournissent les farines dites *rondes*.

« La mouture basse détermine un développement de chaleur dû à des

frottements prolongés, d'où il suit que la qualité des farines *est altérée*. Dans la mouture haute, cet effet est bien moins sensible, et, comme les farines ne sont pas produites au contact des sons, elles viennent plus pures, plus blanches et incontestablement supérieures à celles de la mouture basse; il est vrai que le rendement en belle farine est beaucoup moindre.

« En réponse, maintenant, à quelques questions posées, j'ajouterai que par la mouture avec les cylindres, les farines ne subissent aucun échauffement et, par conséquent, aucune altération du gluten, leur principe nutritif par excellence.

« De plus, comme elles sont produites à l'abri du contact des sons, elles sont plus blanches que celles obtenues avec les meules, et elles sont rondes comme celles de la mouture haute.

« Dans la mouture basse, pour empêcher la pulvérisation du son et obtenir des farines plus blanches, nos meuniers ont soin de mouiller le blé pour rendre son écorce plus souple et moins friable. Mais les farines ainsi obtenues rendent 5 à 6 pour 100 moins de pain, sont de conservation difficile et, par conséquent, impropres à l'exportation.

« A tous ces points de vue donc, les farines rondes sont supérieures aux farines plates.

« Pourquoi alors les boulangers de Paris, qui reconnaissent cette supériorité aux farines rondes, ne les emploient-ils pas pour faire le pain de grande consommation et en limitent-ils l'emploi au pain de luxe?

« Il y a à cela plusieurs raisons.

« Les boulangers de Paris ont un temps très limité pour fabriquer la quantité de pain qui leur est nécessaire pour une journée; le travail commence à minuit et doit être terminé vers six heures du matin. Pendant ce laps de temps, il faut qu'ils fassent le gros pain, le pain de luxe et toute la variété de petits pains, croissants, viennois et autres.

« Une fournée de gros pain exige environ une heure et demie, lorsqu'on emploie des farines de mouture basse; tandis qu'il faut près de deux heures avec des farines rondes.

« Les farines de mouture basse se pétrissent facilement et en peu de temps, alors que celles de la mouture haute produisent une pâte très élastique, très extensible, très pénible à travailler et exigeant beaucoup plus de temps.

« Or, les boulangers de Paris ne sont pas les maîtres dans le fournil, ce sont les garçons boulangers qui y font la loi, et si le patron leur livre des farines rondes, c'est-à-dire les meilleures, ils l'invitent à faire lui-même son pain; quant à eux, ils s'y refusent absolument.

« On se trouve donc en présence de deux difficultés : raison de temps, et exigences des ouvriers, et, voici une des conséquences de cette situation :

« La différence de rendement en pain résultant de la bonne mouture ronde, dite *mouture française*, est d'au moins 6 pour 100; donc s'il faut

pour 2,500 millions de farine à l'alimentation de la France pendant un an, la mouture basse fait perdre 150 millions.

« Enfin, en ce qui concerne la possibilité de traiter avec les cylindres des blés de dureté différente, j'ai dit que tous les blés durs ou tendres pouvaient l'être très avantageusement par les nouveaux procédés. Le blé est toujours assez dur pour éclater, et comme dans la mouture par les cylindres on opère progressivement, on soumet à leur action aussi bien les blés les plus tendres que les plus durs, et pour atteindre ce but, on n'a rien à changer dans l'organisation du moulin, il suffit de régler l'énergie et le nombre des broyages; pour les blés français, c'est-à-dire les blés tendres, il en faut cinq; pour les blés d'Amérique, les Michigans. il en faut six, et pour les blés durs de Russie ou certains blés d'Amérique, il en faut huit.

« Le blutage est indépendant, et lorsque l'installation du moulin est bien faite, le travail de la mouture se fait automatiquement, quelle que soit la nature des blés en mouture.

« Pour finir, disons que l'inconvénient qui se produit quelquefois dans la conversion des gruaux en farine et qui se traduit par des papillotes (farine laminée), provient d'un blutage qui ne sèche pas suffisamment les produits, ou d'un blé qui a été trop mouillé. Mais les meules aussi s'empâtent lorsqu'on soumet à leur action des blés trop humides et que l'aspirateur qui doit enlever la buée ne fonctionne pas. Dans ce cas, on est forcé d'arrêter la meule et de la laver à l'eau chaude pour faire sortir des pores de la meulière la pâte qui s'y est introduite. Avec les cylindres, il suffit de modifier l'allure de la conversion des gruaux; et, même dans le cas où cet inconvénient se manifeste, les farines obtenues sont rondes.

« En présence des avantages qu'offrent les nouveaux procédés, on a le droit de se demander pourquoi la meunerie française ne les adopte pas avec plus d'empressement; il y a pour cela plusieurs raisons :

« 1° Les nouveaux procédés ne sont appliqués en grand que depuis quelques années, et il a fallu les résultats de la concurrence pour faire accepter par notre meunerie leur supériorité sur les meules;

« 2° L'industrie de la meunerie est très divisée, condition peu favorable à l'adoption d'un procédé qui exige le remplacement de tout un matériel;

« 3° Les neuf dixièmes des meuniers ne sont que locataires de l'usine qu'ils exploitent, et, comme les procédés nouveaux sont encore discutés, les propriétaires ne se prêtent pas volontiers à une transformation de l'outillage;

« 4° Les constructeurs de matériel de meunerie sont très nombreux en France, et, à part quelques grands établissements qui ont un personnel technique instruit, ces constructeurs se bornent à reproduire ce que leurs prédécesseurs ont fait avant eux. Ils reconnaîtront difficilement la supériorité des nouveaux procédés, parce qu'en général ils ne peuvent pas les apprécier et parce que cela les conduirait à refaire tous leurs modèles.

« Telles sont, Monsieur le Président, les observations que j'ai cru utile

de présenter pour rendre plus clairs quelques points qui ont été discutés; je m'empresse de vous les transmettre et vous prie, Monsieur le Président, d'agréer l'hommage de ma considération la plus distinguée.

« P. Krémer. »

L'ordre du jour appelle la communication de M. Tresca sur les formules de résistance des matériaux de M. le Dr Weyrauch.

M. Tresca. Messieurs, j'ai désiré vous présenter aujourd'hui quelques considérations sur les formules de résistance des matériaux qui sont employées en Angleterre et en Allemagne.

Il y a un mois, j'ai reçu de M. le Secrétaire de l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, une brochure, qui est une traduction anglaise d'une communication faite devant cette Institution, par M. le docteur Weyrauch, professeur au polytechnicum de Stuttgard.

M. le Secrétaire de l'Institut des Ingénieurs civils de Londres, me demandait en même temps quelle pourrait être l'opinion de l'École française sur les formules établies dans cet ouvrage.

Je n'avais aucune qualité pour lui répondre à ce sujet, et je me suis borné à lui dire, en mon propre nom, quelle était mon appréciation personnelle. J'ai en même temps proposé de demander à M. le Président de la Société des Ingénieurs civils de Paris, de vouloir bien mettre la question à l'ordre du jour, lui offrant de vous donner communication de ces formules, en les appréciant au point de vue mathématique et pratique.

Il a été décidé que cette communication serait faite aujourd'hui, et que la discussion n'aurait lieu que dans la prochaine séance.

En conséquence, je ferai le plus rapidement possible l'exposé de la méthode de M le docteur Weyrauch, en indiquant sommairement les points sur lesquels l'École française, puisque c'est ainsi qu'on l'appelle, ne serait pas absolument d'accord avec les procédés indiqués. Il s'agit de savoir si les expériences faites jusqu'ici, considérées dans leur ensemble, peuvent et doivent être interprétées par les formules que nous employons habituellement ou, d'une manière plus exacte, par les formules employées et adoptées en Allemagne et en Angleterre. C'est là le premier point de départ de cette question, et, en saisissant bien la différence d'appréciation qui caractérise la manière de faire dans les deux pays, je crois que j'aurai beaucoup abrégé les considérations que la question pourrait comporter, car, en définitive, le dissentiment ne repose absolument que sur un seul point.

Vous savez que nous avons l'habitude, dans nos expériences sur la résistance des matériaux, de déterminer, non-seulement la charge de rupture, mais aussi la charge qui correspond à la limite d'élasticité, ainsi que les allongements qui correspondent à ces deux conditions critiques de la matière. En général, nous construisons, pour que la construction offre toute stabilité, sans que la matière puisse être altérée, et ne se brise

pas; c'est particulièrement sur un chiffre de résistance calculée d'après la la limite d'élasticité, que nous basons nos coefficients pratiques.

En Angleterre et en Allemagne, le point de départ de ce choix de détermination se déduit du coefficient de rupture. Il va sans dire que, comme il faut dans les deux modes, assurer un excès de sécurité, nous avons à corriger la charge relative à la limite d'élasticité ou à la charge de rupture par un coefficient, qui restreint ces premières appréciations, et qui nous sert de guide pour déterminer notre charge pratique. Ici, comme à l'étranger, on arrive à peu près aux mêmes résultats, c'est-à-dire à une charge pratique, qui est la même à peu près des deux côtés.

Pour apprécier la différence de point de vue, supposons une charge de rupture de 3,500 kilogrammes par centimètre carré; les Anglais prendront le cinquième de cette charge de rupture, comme étant la charge pratique.

De notre côté, les fers résistant à 12 kilogrammes sans que leur élasticité soit altérée, nous prendrons les deux tiers ou la moitié du chiffre que fournit l'expérience, et nous aurons ainsi la base de nos évaluations; si nous acceptons les deux tiers de 12 kilogrammes, nous arrivons à la charge de 8 kilogrammes, qui est à peu près l'équivalent de celle que j'indiquais tout à l'heure.

En continuant le rapprochement entre les deux méthodes, nous remarquons que, si l'on part de la charge de rupture, il faudra introduire un coefficient qui n'est pas moindre que 1/5, tandis que pour nous le coefficient de 1/2 ou de 2/3 suffira. Dans les deux cas, c'est bien l'expérience qui sert de base, mais notre manière de raisonner est peut-être plus directe, en ce sens que nous serrons la question de plus près; et, en définitive, nous ne sommes pas obligés d'affecter nos chiffres d'une aussi grande correction que les Anglais et les Allemands. Jusqu'à ce qu'on ait démontré qu'on arrive ainsi à des résultats moins favorables, il me semble que la manière de voir des Ingénieurs français est la plus rationnelle. Il y a cela de bien curieux d'ailleurs et de très rassurant, c'est que dans la brochure que je vais analyser tout à l'heure, on se trouve conduit à des chiffres analogues aux nôtres, la charge à laquelle on s'arrête restant toujours inférieure à celle qui correspond à la limite d'élasticité.

L'ouvrage de M. Weyrauch, offre cependant un sérieux intérêt, et en me bornant pour aujourd'hui à examiner purement et simplement les questions qui sont relatives à l'extension et à la compression, et qui servent de base de toutes les autres, il nous sera assez facile d'établir quelles sont, en définitive, les vues nouvelles, avec assez d'exactitude pour que vous puissiez porter dans une discussion ultérieure, une juste appréciation.

Au commencement de sa brochure, voici ce que dit le professeur Weyrauch :

« Dans le choix à faire des charges que l'on peut faire supporter au fer et à l'acier, le point de comparaison se rapporte à la charge qui correspond, soit à la limite d'élasticité, soit à la rupture; la nouvelle méthode, adoptée par les ingénieurs allemands, repose exclusivement sur la charge

de rupture. Il n'existe plus, parmi les écrivains allemands, aucun représentant de l'autre école, quoique la charge pratique soit toujours inférieure à celle qui altérerait l'élasticité. »

Nous ne croyons pas qu'il en soit de même en France, et c'est sur cette divergence que nous avons surtout à insister.

L'ingénieur allemand raisonne sur des limites de charges différentes des nôtres; j'appellerai votre attention sur ce fait que la nouvelle méthode, ne dépend absolument que de la résistance à la rupture. Lorsque nous construisons en fer, en bois ou en fonte, nous nous reprocherions avec raison de ne considérer que l'une des propriétés de ces matériaux ; c'est l'ensemble qu'il faut envisager, quoique j'ai prétendu tout à l'heure, que la limite d'élasticité est plus pratique que la limite de rupture. Il faut, en définitive, se préoccuper de tous les éléments de la question; ils sont tous solidaires et nous verrons tout à l'heure si les formules allemandes n'en tiennent compte que très indirectement.

Je suis un peu embarrassé pour vous exposer les calculs de la brochure qui nous occupe, parce que les notations qui y sont employées, sont différentes de celles qui nous sont habituelles, et presque contradictoires, de sorte qu'il faudra les définir toutes. On désigne donc par a la charge que peut supporter la matière avant de rompre, dans une circonstance donnée; mais cette charge que peut supporter la matière doit varier suivant les circonstances, et on dit qu'elle est fonction d'un nombre indéterminé de conditions, qu'on peut représenter par les variables x, y, z, et alors on a :

$$a = f(x, y, z).$$

Ici, a est la variable principale, tandis que nous considérons le plus généralement cette quantité comme permanente, ou du moins, constante, pour chaque nature de matériaux. Donc a est une quantité variable, qui va être représentée par des notations différentes suivant les cas.

Je dois dire d'abord que toutes les indications qui vont suivre se rapportent au centimètre carré, qui, en cette matière, est une unité très convenable. L'auteur appelle t la charge de rupture par centimètre carré, lorsqu'on opère sans précipitation le chargement de la pièce. La charge t serait donc la charge de rupture à l'état statique, si je puis m'exprimer ainsi.

L'auteur introduit deux autres coefficients de rupture. Il appelle u la charge sous laquelle la pièce pourrait rompre si successivement elle était chargée et déchargée un certain nombre de fois de cette charge u par centimètre carré, et les expériences très bien faites de M. Wöhler ont établi que de cette façon, en chargeant et déchargeant successivement une pièce, elle pouvait rompre sous une charge notablement inférieure à la résistance statique.

Et ce qu'il y a de plus intéressant dans la brochure qui nous occupe, c'est précisément la distinction entre ces charges de rupture statique et celles qui exigent des chargements et des déchargements successifs.

Enfin l'auteur arrive à considérer une autre résistance qu'il désigne

par *s*, et qui serait la mesure de la charge de rupture, dans le cas où, après avoir chargé une barre, avec cette charge *s* par centimètre carré, puis après l'avoir chargée en sens contraire, jusqu'à la même limite et ainsi de suite, d'une manière alternative, on arrivait également à la rompre. De là, trois coefficients de rupture à considérer : *t* sera la charge statique de rupture, *u* qui est désignée sous la dénomination de charge naturelle de rupture, et *s* la charge qui détermine la rupture par alternances. Il y a là, sans doute, une complication introduite dans la question, mais les trois notions sont intéressantes et nous allons voir tout à l'heure si cette complication est rachetée, comme on le croit, en ce qu'elle apporte, dans certains cas, une connaissance plus exacte et plus précise des propriétés de la résistance des matériaux.

Il résulte des expériences faites d'une manière précise par M. Wöhler, depuis 1859 jusqu'en 1870, que la charge *u* est notablement plus petite que la charge *t*; il n'est pas aussi bien prouvé qu'il y ait une différence considérable entre la charge *u* et la charge *s*, et on n'a à cet égard qu'un très petit nombre de chiffres. Mais il n'y a aucune difficulté cependant d'admettre que, si une charge intermittente peut causer la rupture d'une pièce plus vite qu'une charge permanente, une charge alternative doit évidemment tendre à déterminer la rupture plus vite encore.

C'est sur la considération de ces trois charges de rupture : la charge statique, la charge naturelle, et la troisième que l'auteur appelle charge de vibration, qu'ont été fondées les formules de résistance de matériaux employées en Allemagne depuis les expériences de Wöhler. Les plus importantes de ces formules sont celles qui ont la consécration de l'expérience. La formule la plus directement basée sur les expériences de Wöhler est celle qui est indiquée au tableau sous le nom de formule de Launhardt.

Cette formule, que l'on pourrait croire rationnelle quand on parcourt la série des équations dont elle se trouve déduite, est, en définitive, plutôt empirique, ou tout au moins obtenue dans des conditions auxquelles nos méthodes d'analyse ne nous ont pas habitués.

Je suppose qu'une pièce soit chargée tantôt d'une charge a, tantôt d'une charge a', nous pouvons représenter par d la différence entre les deux charges; on a ainsi :

$$d = a - a',$$
$$a = d + a'.$$

Ces deux relations pourront être considérées comme des formules générales dans lesquelles il y aurait lieu d'introduire les différentes valeurs u, t et s que nous avons considérées tout à l'heure. Si, en effet, nous faisons

$$a' = o,$$

nous tirons de la seconde de ces formules :

$$a = d = u.$$

Si :

$$d = o,$$

ce qui veut dire que les charges a et a' sont toujours les mêmes, nous devons faire :

$$a = a' = t.$$

Je poursuis aussi bien que j'ai pu le comprendre le raisonnement de M. Launhardt ; il dit : a, la charge de rupture variable suivant les circonstances doit être une fonction de d, et il écrit :

$$a = fd.$$

Admettant ainsi que pour avoir la valeur de a il suffise de chercher quelle est la valeur de f, considéré comme un facteur linéaire. M. Launhardt fait remarquer qu'il connait la valeur de f pour un cas particulier.

En effet pour

$$d = o,$$

il sait que

$$a = a'.$$

Et si $a = a'$, il est évident qu'il faut donner à f, dans ce cas, une valeur infinie ; il y a encore un autre cas pour lequel on connait cette valeur de f, c'est le cas où d serait égal à a, nous avons alors :

$$a = df \qquad \text{et} \qquad f = 1.$$

Il ne faut pas seulement que le coefficient, quel qu'il soit, satisfasse à la valeur a, dans ces deux conditions ; il faut qu'il satisfasse à toutes les autres. Néanmoins M. Launhardt fait encore remarquer qu'il a trouvé une formule qui satisfait à ces deux conditions fondamentales, et alors il écrit :

$$a = \frac{t - u}{t - a}(a - a').$$

Vous voyez ainsi combien il y a d'empirisme dans cette équation.

Cette formule :

$$a = \frac{t - u}{t - a}(a - a'),$$

il l'a résolue partiellement par rapport à a, et il trouve ainsi :

$$a = \frac{t - u}{t - a}(a - a') = u\left(1 + \frac{t - u}{u}\frac{a'}{a}\right).$$

C'est là une transformation algébrique parfaitement régulière. Pour faire usage de cette formule, dans un cas particulier, si l'on a à considérer tantôt la charge a, tantôt la charge a', il arrivera que $\frac{a'}{a}$ ne sera autre chose qu'un rapport entre les deux quantités a' et a, rapport que nous représenterons par φ, d'où :

$$a = u\left(1 + \frac{t - u}{u}\varphi\right).$$

Telle est la première formule de la brochure, elle a été directement vérifiée par les expériences de Wöhler, ainsi qu'il résulte, page 10 de la brochure, des chiffres suivants exprimés en mesures allemandes.

$a' =$	0	250	400	600	1100
a calculé par la formule de Launhardt $=$	500	711	800	900	1100
a déduit des expériences de Wöhler $=$	500	700	800	900	1100

La concordance ne saurait être plus complète.

Si nous voulons, par nous-même, faire l'application de cette formule, à un fer qui, sous le nom de fer du Phénix, a été expérimenté par Wöhler, nous trouvons :

$$\frac{t-u}{u} = \frac{3290-2190}{2190} = \frac{1}{2},$$

et

$$a = 2170\ (1 + \tfrac{1}{2}\varphi).$$

Mais pour obtenir la valeur de la charge pratique b il faut faire subir une certaine réduction à cette charge de rupture. Nous prendrons $u = 2100$, et nous réduirons ce nombre au tiers de sa valeur, ce qui donne :

$$b = 700\ (1 + \tfrac{1}{2}\varphi).$$

On voit par les exemples cités par l'auteur, que la formule de Launhardt, jouit à bon droit en Allemagne d'une adoption tout à fait générale. Celle de M. le docteur Weyrauch, n'a pas encore la même consécration; pour l'établir il adopte presque pied à pied la suite des raisonnements dont j'ai parlé tout à l'heure, de manière à l'approprier, non pas au cas où il y aurait seulement intermittence, mais au cas dans lequel il y a, ainsi que nous le disions au commencement, alternance dans la charge. Ainsi que vous le voyez dans la seconde partie du tableau; a représente la charge positive exercée dans un sens, et a' représente la charge de compression opposée à la charge d'extension. La différence sera d, et la formule

$$d = a + a',$$

deviendra :

$$a = d - a'.$$

si $\qquad a' = o, \qquad a = d = u,$

si $\qquad a' = a, \qquad a = \frac{d}{2} = s.$

s est ce coefficient particulier qu'on appelle charge de rupture de vibration; supposant que a est fonction de d, il n'y a plus qu'à déterminer la valeur de f; le facteur f devra, comme précédemment, satisfaire à deux conditions particulières.

Il faut faire ici l'éloge de la sagacité de M. le docteur Weyrauch, bien

qu'il ait été conduit à un écart plus considérable par rapport à la simplicité dont nous parlions tout à l'heure. Sa formule est rationnelle en ce qu'elle repose sur une interprétation sage, mais elle est complètement empirique, en ce qui concerne sa forme.

Il nous vient :

$$a = fd,$$

ce qui pour $f = \frac{u - s}{2u - s - a}$, valeur qui satisfait à $f = 1$ pour $a = u$ et à $f = \frac{1}{2}$ pour $a = s$, conduit successivement à :

$$a = \frac{u - s}{2u - s - a}(a + a')$$

$$a = u\left(1 + \frac{u - s}{u}\varphi\right);$$

φ étant ici une quantité négative qui représente le rapport $a' : a$.

Telle est la formule proposée par M. le docteur Weyrauch, et vous voyez maintenant sur quelle base elle est fondée.

Faisons-en une application particulière à ce fer de Phénix, très bien expérimenté par M. Wöhler, et reprenons les chiffres de tout à l'heure. 2190 reste la valeur de u; introduisons dans la formule la valeur de s, c'est-à-dire 1170, il nous vient :

$$\frac{u - s}{u} = \frac{2190 - 1170}{2190} \frac{7}{15}.$$

M. Weyrauch fait observer que $\frac{7}{15}$ est bien près de $\frac{1}{2}$ et il arrive ains à :

$$a = 2170\ (1 + \tfrac{1}{2}\varphi),$$
$$b = 700\ (1 + \tfrac{1}{2}\varphi),$$

même formule que celle de Launhard, en apparence toutefois, car dans la première, φ est positif, et négatif dans la seconde. Nous avons ainsi un tableau qui nous permet de recourir respectivement à l'une ou à l'autre de ces deux formules, pour tenir compte des circonstances particulières, suivant qu'une charge serait permanente, intermittente ou alternative. Certainement, il y a là une comparaison extrêmement intéressante, surtout pour l'avenir; nous pourrons raisonner de la même façon, en ce qui concerne la limite d'élasticité, et appliquer ainsi à la méthode usitée en France des considérations ingénieuses auxquelles on ne peut reprocher que d'être basées sur des données d'expériences qui ne sont pas celles, suivant nous, qui se rapprochent assez des données dont nous avons besoin pour justifier le mieux possible nos calculs d'application.

Je pourrais suivre ces formules pour le cas où il y aurait à considérer, non pas seulement une action d'extension ou de compression, mais aussi

au cas dans lequel la pièce serait exposée à la flexion : on aura recours au même principe; seulement, il faut ajouter qu'on a mis en œuvre un procédé tout aussi ingénieux que le précédent pour déterminer quelle doit être l'influence de cette flexibilité et déterminer le coefficient le plus convenable. Ce procédé est basé sur une certaine valeur de μ qui est obtenue sous cette forme : le produit de la charge par centimètre carré multiplié par le carré de la longueur de la pièce et divisé par le produit du coefficient d'élasticité et du moment d'inertie de la section transversale.

Ce coefficient μ pourra être introduit dans les formules, et lorsque la pièce est exposée à fléchir par voie de compression, il suffira de remplacer la valeur de b par la valeur de la charge par centimètre carré, et de multiplier d'une manière à peu près générale, par $1 + \mu$, la valeur de μ étant déterminée comme nous venons de le dire.

Je ne puis dans cette première communication entrer dans d'autres détails, et je tiens seulement à porter une appréciation sur le principe même.

Oui, il y a quelque chose de très juste dans cette considération que la même matière ne supportera pas la même charge, lorsque cette charge sera permanente, ou lorsqu'elle sera alternative, ou simplement discontinue; et nous pouvons considérer les formules qui nous occupent, comme un premier pas qui nous permettra dans l'avenir de caractériser plus sûrement l'influence de ces diverses circonstances sur la résistance des matériaux.

Nous ne pouvons pas toutefois aller jusqu'à considérer cette théorie comme établie dès à présent, et comme nous donnant une complète sécurité dans toutes les circonstances, je dirai même qu'au point de vue du raisonnement, elle laisse encore à désirer, et si nous voulions l'apprécier d'une manière définitive, j'ajouterais que ce ne pourrait être qu'en comparant les résultats avec ceux que l'expérience a consacrés.

Il y a là une démonstration très intéressante pour une barre soumise a des charges variant de 50,000 à 20,000 kilogrammes; nous adopterions directement une charge de 800 par centimètre carré, et d'après M. le docteur Weyrauch :

$$b = 700 \left(\frac{1}{2}\,\frac{20,000}{50,000}\right) = 840 \text{ k.}$$

Ainsi, nous trouvons que la formule de M. Weyrauch, tenant compte de l'intermittence des différentes charges, nous conduirait à ne pas modifier nos dimensions dans une proportion notable.

M. le professeur Weyrauch compare ses résultats avec ceux d'un certain nombre de formules américaines et, parmi ces formules, il en est une qu'il importe de citer ici.

Les ingénieurs américains, dit-il, en ce qui concerne la construction des machines, admettent que les résistances auxquelles on peut soumettre les pièces, varient à peu près dans les proportions des nombres 1, 2, 3, suivant

que la charge est alternative, intermittente ou continue. Il faudrait donc que la quantité $1 + \frac{1}{2}\varphi$, prise dans le sens absolu, nous conduisît à un résultat tel que les quantités $1 - \frac{1}{2}\varphi$, 1 et $1 + \frac{1}{2}\varphi$ fussent dans les proportions de 1, 2, 3, ce qui revient à supposer que $\varphi = 1$. D'après les ingénieurs américains, il faudrait charger les pièces soumises à une action discontinue de 700 kilogrammes par centimètre carré; celles qui sont soumises à une action continue, de une fois et demie 700 kilogrammes, soit 1.050 kilogrammes, et les pièces, au contraire, soumises à des actions alternatives, ne pourraient recevoir qu'une charge de 700 moins 350, c'est-à-dire 350 kilogrammes seulement par centimètre carré.

Il résulterait de là que nous aurions une notion plus nette et plus simple de ce que nous aurions à faire suivant les différents modes de chargement.

Avec le texte anglais que vous avez sous les yeux, vous reconnaîtrez facilement que nous sommes en présence de considérations vraiment intéressantes, et de réflexions véritablement nouvelles, sur la résistance des matériaux, qui seront quelquefois d'un réel intérêt pratique.

Pour la construction d'un pont, par exemple, qui est soumis tantôt à une charge permanente, tantôt à une surcharge, nous connaissons immédiatement la valeur de φ, et la solution du problème se présente d'elle-même.

Une application a été faite de cette formule dans la brochure qui nous occupe; elle est assez curieuse par son résultat :

Quelle est la dimension à donner à une poutre de pont pour lequel le poids mort est à la charge totale dans le rapport de 1 à 3,5?

La formule donne immédiatement :

$$b = 700\left(1 + \frac{1}{2}\,\frac{1}{3.5}\right) = 800 \text{ kilogrammes.}$$

C'est à ce même chiffre que nous nous serions arrêté, de sentiment, sans avoir à effectuer aucun calcul.

Je pense que nous pourrons dans une autre séance nous livrer à une discussion utile, basée sur les indications qui précèdent; pour ma part, j'y vois deux avantages : un premier avantage, en ce sens que nos connaissances se trouvent véritablement élargies, et il était peut-être nécessaire que nous fussions mis au courant de ce qui se passe à l'étranger. J'y vois un second avantage, c'est que, puisqu'on nous qualifie d'École française, c'est un devoir pour nous de répondre à l'École anglaise, de faire ressortir quelles sont les bonnes raisons que nous avons à donner pour ne pas partager complètement la même manière de voir, et de dire quel est en définitive le fort et le faible des considérations nouvelles, auxquelles vous avez bien voulu prêter votre bienveillante attention.

M. Le Président remercie M. Tresca de sa communication, qui sera imprimée *in extenso*, et tenue au siège de la Société, à la disposition des

Membres qui désireront prendre part à la discussion qui aura lieu, dans la prochaine séance, le 15 courant.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Jules Morandiere sur le frein Westinghouse, appliqué à la Compagnie du chemin de fer de l'Ouest.

M. Morandiere se propose uniquement de soumettre à la Société les résultats obtenus, en pratique courante, par la Compagnie de l'Ouest, avec le frein continu, à air comprimé, système Westinghouse. Il doit faire remarquer, toutefois, que l'exposé des faits est accompagné de réflexions et d'explications qui lui sont le plus souvent personnelles.

Il rappelle, tout d'abord que, en 1878, au moment de l'Exposition, la Compagnie de l'Ouest avait déjà monté ce frein continu sur 900 *voitures et* 90 *locomotives.*

Actuellement, le nombre total des véhicules munis de cet appareil est de 2000 voitures et fourgons
et 200 locomotives.

L'application à tout *le matériel à voyageurs* sera, selon toutes probabilités, terminée dans un délai de deux ans.

M. Morandiere rappelle ensuite, sommairement, le fonctionnement du frein Westinghouse automatique; à l'aide de croquis à grande échelle faits au tableau, il démontre le fonctionnement de l'appareil principal dit *Triple valve*, et en quelques mots, il fait ressortir les améliorations et simplifications de détails, qui ont été apportées au frein à air comprimé, depuis ses premières applications à la Compagnie de l'Ouest en 1878, et insiste sur ce fait que le mécanicien n'a nul besoin, pour la manœuvre de son frein, de se préoccuper des détails des appareils dont il vient d'être question; il n'a absolument, suivant le cas, qu'à placer la poignée de manœuvre du robinet de commande, à l'un des 3 crans correspondants à la position normale de route, ou à celles de serrage ou de desserrage.

M. Morandiere signale que tous les véhicules qui peuvent recevoir un conducteur ou un serre-frein, sont munis d'un robinet branché sur la conduite principale, et à l'aide duquel ces agents peuvent, en produisant un certain échappement d'air, déterminer, soit un ralentissement, soit l'arrêt du train.

M. Morandiere fait remarquer que l'on a ainsi un excellent moyen de communication entre les divers agents des trains, et dont ils ont, paraît-il, profité à plusieurs reprises à la Compagnie de l'Ouest.

M. Morandiere indique que cette facilité d'opérer un serrage automatique, donnée à tous les agents d'un train, a permis à la Compagnie de l'Ouest d'entrer, en toute sécurité, dans la voie des groupes de voitures laissés en route par un train express, à des stations où il ne s'arrête pas.

Dans un autre ordre d'idées, M. Morandiere donne des détails sur un certain nombre d'accidents que l'emploi du frein Westinghouse a permis d'éviter.

Passant ensuite à la question d' « automaticité », il rappelle la définition suivante du mot *automatique* appliqué aux freins continus.

« *L'automacité est la propriété en vertu de laquelle le frein entre de lui-* « *même en action, lorsqu'il se produit daus le train une fuite ou un déran-* « *gement assez important, pour que la certitude du fonctionnement ultérieur* « *ne soit plus complète.* »

M. Morandiere fait ressortir les avantages de l'automaticité au point de vue de la sécurité.

Puis il indique qu'il résulte des statistiques officielles de la Compagnie de l'Ouest que, en 1880, le nombre des serrages, dits intempestifs, dont la source peut être imputée à l'automaticité, a été :

Pour les trains express de grande ligne de 6 pour 273,625 kilomètres parcourus.

Et pour les trains de banlieue de 16 pour 1,234,335 arrêts, (soit 1 incident pour 19,000 arrêts.)

Ces incidents, relativement peu nombreux, dus en grande partie à des montages défectueux du début ont, ajoute M. Morandiere, tendance à diminuer, ainsi que le montrent les statistiques du deuxième semestre 1880.

Il est intéressant de signaler, dit M. Morandiere, que la plupart des incidents susmentionnés, n'ont donné lieu qu'à des arrêts de 2 à 3 minutes et de 5 minutes au plus, ce qui n'a aucune gravité par rapport à l'importance des accidents qui peuvent arriver à des appareils non automatiques.

M. Morandiere termine l'examen de la question d'automaticité, en signalant, qu'il n'a pas été relevé à la Compagnie de l'Ouest de cas où le frein n'ait pas agi quand on en a eu besoin ; point évidemment de la plus grande importance pour un frein continu.

M. Morandiere, parlant ensuite du *temps nécessaire pour produire l'arrêt*, fait remarquer que les secousses qui se produisaient au début, lors des arrêts brusques, tenaient à l'inexpérience des mécaniciens, qui manœuvraient le frein sans précaution. Ces secousses ont entièrement disparu grâce à ce que :

1° L'on n'enraye pas complètement les roues, ce que l'on obtient, pratiquement, en limitant, au moyen de l'ouverture partielle du robinet de manœuvre, la pression exercée sur les sabots ;

2° En desserrant le frein continu, lorsqu'il ne reste plus que quelques mètres à parcourir ; on peut, dans ces conditions, obtenir, normalement, des arrêts sans secousses dans les espaces moyens suivants :

100 mètres sur les lignes de banlieue,
et 200 mètres environ sur les grandes lignes, c'est-à-dire, quant à présent, pour les trains express.

En cas de nécessité, ces parcours peuvent être réduits de moitié environ.

A propos du *serrage modérable pour la descente des pentes*, M. Morandiere signale que la Compagnie de l'Ouest a fait, en juillet 1879, des expériences dans le but de vérifier la possibilité de descendre les pentes avec le frein automatique à air comprimé.

Ces expériences ont été exécutées entre les Ifs et Fécamp, sur une pente de 17 et 18 millimètres, ayant une longueur de 6 kilomètres.

M. Morandiere cite quelques passages d'une lettre adressée par la Compagnie de l'Ouest à l'administration supérieure, indiquant la marche suivie et les résultats obtenus.

Des diagrammes représentés au tableau, permettent de se rendre compte des faits relatés dans la lettre susmentionnée, et dans laquelle il est dit :

« La vitesse ayant été la même au bas de la pente qu'au commencement, et de plus, la pression de l'air ayant été maintenue constante, on doit considérer que le résultat final de l'expérience eût été exactement le même, si on avait opéré sur une pente plus longue. » . . . .

. . . .

. . . .

« Il résulte des essais, que la manœuvre du frein à air comprimé, pour la descente des pentes, ne comporte aucune difficulté; elle consiste en effet, à tourner de temps en temps un robinet à 3 voies, et, avec un peu d'habitude de la ligne, le mécanicien arrive facilement à obtenir une vitesse très régulière, tout en maintenant constante la pression dans la conduite. »

En résumé, et comme l'indique le diagramme, les variations de vitesse ont été limitées, et le résultat est aussi parfait qu'on peut le désirer.

M. Morandiere fait ressortir l'importance des faits qu'il vient de signaler, puis il passe à l'examen de la question *d'entretien des appareils*, il signale que le service courant a démontré que les appareils étaient constitués de matériaux durables, et ne demandant qu'un entretien peu dispendieux.

Toutefois, ajoute M. Morandiere, il ne faut pas perdre de vue que les raccords d'accouplement en caoutchouc doivent être de toute première qualité et qu'ils doivent être l'objet de visites minutieuses. Leur usure est due surtout au frottement qu'ils supportent contre les diverses pièces des voitures.

M. Morandiere indique que la pratique a démontré que la *triple valve*, qui à l'origine a paru un organe délicat, est parfaitement proportionnée aux fonctions qu'elle a à remplir et que, jusqu'à ce jour, son fonctionnement s'est fait sans détérioration ni usure. Dans le cours des deux hivers exceptionnellement rigoureux de 1879-80 et 1880-81, il n'a été relevé qu'un seul

cas de non-fonctionnement du frein d'une voiture, par suite d'une triple valve gelée.

Dans les deux cas, une simple visite avait été faite avant la saison rigoureuse.

Les pompes de compression à vapeur, dont le fonctionnement est constant, ne donnent lieu qu'aux réparations de tout organe qui s'use par le fait de son service. Les soins de graissage et les soins spéciaux en temps de gelée sont les mêmes que ceux exigés pour les pompes d'alimentation et les injecteurs.

Ces appareils, placés sur les locomotives, sont du reste faciles à entretenir.

M. Morandiere fait remarquer que l'emploi des freins continus, loin d'être une cause de rupture des bandages, tend, au contraire, à faire diminuer ces ruptures attendu qu'il ne se produit pas d'échauffement, et il signale, comme preuve à l'appui, que depuis 1879, aucune rupture de bandage ne s'est produite à la Compagnie de l'Ouest sous des véhicules munis du frein continu à air comprimé.

M. Morandiere donne ensuite quelques renseignements relatifs aux dépenses d'entretien courant, desquels il résulte que ces dépenses sont notablement inférieures à ce que l'on avait pu prévoir au début de l'application du frein à air comprimé.

M. Morandiere termine sa communication par une description sommaire de la disposition, inventée par M. Westinghouse et modifiée par la Compagnie de l'Ouest, à l'aide de laquelle les voyageurs peuvent, de l'intérieur des compartiments, produire une dépression dans la conduite d'air comprimé dont la conséquence est de mettre en jeu un sifflet placé sur les voitures et un autre existant sur la machine, ce qui a pour effet d'appeler l'attention des agents du train, en cas de besoin; la modification apportée par la Compagnie de l'Ouest a eu surtout pour but de permettre l'appel sans que l'arrêt, au moins immédiat, par le serrage des freins, en soit la conséquence.

Les résultats des essais ont été satisfaisants et permettent de prévoir une application générale de ce système.

M. le Président fait remarquer que la Compagnie de l'Ouest a été une des premières, en France, à adopter un frein continu et qu'elle en a rapidement étendu l'application à ses locomotives et à ses voitures.

L'expérience pratique se continue, depuis trois ans, sur une très grande échelle, ainsi que vient de l'indiquer M. Morandiere; dans ces conditions, M. le Président pense qu'il était intéressant d'être renseigné sur les résultats obtenus en service courant. La communication de M. Morandiere lui paraît y répondre complètement.

M. Gottschalk rappelle qu'il y a eu dernièrement, en Angleterre, une réunion d'ingénieurs de chemins de fer qui s'étaient posé comme programme la discussion des conditions à remplir par un bon frein continu

et la recherche du meilleur des systèmes aujourd'hui expérimentés. Il pense qu'il serait intéressant d'être renseigné sur les conclusions auxquelles ils sont arrivés.

M. le Président fait observer que le but de la communication qui vient de nous être faite n'est pas de rechercher quel est le meilleur système de frein continu; on a déjà bien discuté sur cette question sans qu'il en soit résulté une conclusion bien nette.

Ce que nous avons demandé à la Compagnie de l'Ouest, ajoute M. le Président, c'est de nous renseigner sur les résultats qu'elle a obtenus avec le frein automatique Westinghouse, qu'elle applique couramment depuis trois ans; nous serons très heureux d'obtenir les mêmes renseignements pour les autres systèmes appliqués ou essayés; ce sera le moyen d'arriver à une conclusion en toute connaissance de cause. En attendant, si quelqu'un peut nous fixer sur les résultats obtenus en pratique courante, en Angleterre, avec le frein Westinghouse, ce sera un excellent complément à la communication qui vient de nous être faite.

M. Morandiere pense que M. Kapteyn, présent à la séance, pourrait donner des renseignements intéressants à cet égard.

M. Kapteyn dit qu'il compte déposer aux archives de la Société, comme pièce annexe de la communication que vient de faire M. Morandiere, un rapport de M. Drummond, ingénieur en chef du North-British. Il indique qu'il ressort de ce rapport que le prix de revient annuel de l'entretien des appareils Westinghouse a été de 23 fr. 70 environ par machine, et 0 fr. 80 environ par voiture.

Ces prix, établis sur une moyenne de 60 machines et de 623 voitures, comprennent non seulement l'entretien des appareils de la commande à air, mais également la partie mécanique des freins dite *frein de fondation.*

M. Kapteyn fait remarquer que le prix de 0 fr. 80, bien que très exact dans l'espèce, ne doit pas être pris comme base normale, attendu qu'il ne comprend que le remplacement d'un petit nombre de raccords en caoutchouc, et qu'aucun renouvellement des sabots usés n'y est compté. Ce chiffre indique, toutefois, que le prix d'entretien des appareils est bien au-dessous de ce que l'on avait prévu au début et confirme complètement, sous ce rapport, les appréciations de M. Morandiere.

M. Kapteyn, estimant la valeur d'un accouplement en caoutchouc à 10 francs et sa durée à 5 années, fait ressortir que la dépense annuelle d'entretien des deux accouplements de chaque véhicule sera de 4 francs par an, ce qui, en tenant compte des chiffres ci-dessus, ferait revenir à moins de 5 francs l'entretetien du frein Westinghouse, par an et par véhicule.

M. Mayer croit que l'application du frein Westinghouse à des trains de vingt-quatre voitures a été faite pour la première fois en France et au chemin de fer de l'Ouest. Il y avait là une difficulté qui avait paru assez grave, au début, mais qui a été depuis très heureusement surmontée.

M. Mayer désirerait avoir de M. Kapteyn la confirmation du fait de priorité de cette application pour la France.

M. Kapteyn répond que le fait cité par M. Mayer est parfaitement exact; il ajoute que M. Westinghouse s'est trouvé, au début de cette application, en présence d'une situation toute nouvelle, pour ainsi dire; c'est même ce qui l'a conduit à modifier ses appareils pour les rendre plus sensibles, afin de diminuer la durée du temps écoulé entre le moment du serrage des freins de tête et des freins de queue; il croit devoir rappeler à cet égard que, ainsi que la dit M. Morandiere, l'on est arrivé à réduire cette durée à deux secondes pour les trains de douze véhicules et à quatre secondes pour ceux de vingt-quatre voitures. M. Kapteyn pense que dans ces conditions on peut considérer le serrage comme instantané.

M. Kapteyn signale que, en Amérique, l'élasticité des attelages est bien moindre qu'en Europe, et il fait remarquer que cette condition est essentiellement favorable pour éviter les secousses dans les arrêts rapides.

M. le Président fait observer que les renseignements qui viennent d'être donnés se rapportent aux trains de voyageurs les plus longs, le nombre maximum des véhicules qui peuvent, en France, entrer dans la composition de ces trains étant de 24.

M. le Président indique ensuite qu'il a demandé à M. Belpaire, membre correspondant de notre Société pour la Belgique, de vouloir bien lui faire connaître ses observations sur les différents points du programme de la communication de M. Morandiere.

M. le Président fait une analyse sommaire de la réponse que M. Belpaire s'est empressé de lui adresser et qui est reproduite *in extenso* à la suite du procès-verbal.

M. Kapteyn, à propos de l'application du frein Westinghouse automatique aux trains très longs dans la descente des pentes, indique que le mois dernier M. Westinghouse a fait, en Amérique, une expérience avec un train de marchandises composé de 50 *wagons* (longueur totale du train, 610 mètres), il a pu, dans ces conditions, à l'aide du frein, descendre en toute sécurité, une pente de 22 millimètres d'inclinaison et de 18 kilomètres de long.

La pompe ordinaire sur laquelle on avait eu quelques doutes avant l'essai, a été reconnue parfaitement suffisante pour maintenir la pression nécessaire.

Ces résultats qui viennent pleinement confirmer ceux obtenus à la Compagnie de l'Ouest, et qui ont été rappelés par M. Morandiere, paraissent à M. Kapteyn de nature à infirmer d'une façon complète les objections théoriques que l'on avait faites à l'application du frein Westinghouse pour la descente des pentes et les trains d'une longueur exceptionnelle.

D'autre part, M. Kapteyn croit devoir faire observer que dans la descente des pentes les variations de vitesses sont ordinairement beaucoup

plus sensibles qu'on ne le pense et cela, non parce que les appareils à contre-vapeur ou les freins sont insuffisants, mais bien parce que ces variations, appréciées à l'œil par le mécanicien, ne peuvent l'être que dans des limites assez larges.

Il rappelle à l'appui de son dire que dans les expériences faites, à la Compagnie de l'Ouest, avec le frein Westinghouse, sur la pente de Fécamp on a, pour les premiers essais, laissé le mécanicien apprécier les vitesses, à l'œil, comme d'habitude; dans ces conditions, les variations ont été comprises entre 42 kilom. et 52 kilom.

Dans le dernier essai, au contraire, le mécanicien avait devant lui un indicateur de vitesses qui lui montrait les moindres variations : dans ces conditions, avec le même frein, les écarts de vitesses ont pu être limités entre 45 kilom. et 47 kilom.

M. Kapteyn estime que ces résultats montrent bien que ce n'est pas la capacité du frein Westinghouse qui fait défaut pour éviter les variations de vitesse dans la descente des longues pentes, et que, envisagée au point de vue pratique, cette capacité est plus que suffisante.

M. Hauet croit savoir qu'il s'est présenté des cas, où il n'a pas été possible de détacher à Motteville les voitures du train en marche, il désirerait savoir si cela tient au fonctionnement du frein Westinghouse.

M. Ribail fait observer qu'il ne faut pas confondre l'appareil de déclanchement des attelages du train avec le frein; ces deux appareils sont absolument indépendants l'un de l'autre. S'il s'est présenté des cas où le déclanchement des attelages du train ne s'est pas régulièrement fait en marche, cela a tenu à l'hésitation de l'agent chargé de la manœuvre du déclanchement et nullement au frein.

M. Morandiere ajoute que, dans ce cas, le frein continu est un auxiliaire utile en ce qu'il permet à l'agent, qui n'a pu faire fonctionner le déclanchement des attelages, de déterminer un serrage qui prévient le mécanicien, lequel arrête le train pour permettre de dételer à la main la portion à laisser à la station.

M. le Président remercie M. Morandiere de sa communication qui sera publiée, *in extenso*, dans notre Bulletin avec les croquis et diagrammes complémentaires, et il prie les membres qui auraient des communications de même nature, sur les autres systèmes de freins continus de nous les apporter comme l'a fait M. Morandiere.

M. Stilmant dit qu'un chemin de fer français va prochainement entreprendre des expériences sur différents systèmes de freins et que la question des trépidations verticales, si désagréables, qui se produisent dans les systèmes ordinaires actuellement en usage y sera en particulier étudiée d'une façon spéciale : il espère que des conclusions pratiques sortiront de ces essais.

M. le Président répond à M. Stilmant que s'il veut bien, à la suite des

essais qu'il annonce, nous donner des renseignements sur la question qu'il vient d'indiquer, la Société l'écoutera avec intérêt.

Il est ensuite procédé au vote pour la nomination d'un Membre du Comité en remplacement de M. Demimuid, décédé.

Le dépouillement du scrutin donne la majorité à M. Morandiere, qui est déclaré élu membre du Comité.

Les membres admis dans la présente séance sont :

MM. Boucher, Delattre, Dumas, Finol, Joubert, Leblond, comme membres sociétaires, et M. Wideman, comme membre associé.

Lettre adressée à M. le Président par M. Belpaire, membre correspondant de la Société, pour la Belgique, en réponse aux renseignements qui lui ont été demandés sur les applications du frein Westinghouse en Belgique, et dont il est parlé plus haut.

« Bruxelles, 19 juin 1881.

« Mon cher Collègue,

« Répondant à votre lettre du 25 juin, relative à la communication que M. Morandiere se propose de faire, le 1er juillet prochain, à la Société des Ingénieurs civils, je m'empresse de vous transmettre, ci-dessous, quelques renseignements sur les applications du frein Westinghouse, en Belgique. Ces renseignements ne sont malheureusement pas aussi complets que je l'eusse désiré; mais vous n'êtes pas sans savoir que, par suite de circonstances indépendantes du système, l'application générale décidée en principe n'a pas marché avec toute la rapidité désirable. Tout me permet de croire cependant que d'ici à peu ce retard sera réparé.

« Cette observation générale faite, je réponds aux divers points de votre lettre :

« 1° L'Administration des chemins de fer de l'État est la seule Compagnie belge qui emploie le frein Westinghouse. J'ajouterai que c'est la seule qui applique un frein continu à titre définitif. Le chemin de fer du Grand-Central a fait, je crois, quelques essais peu importants qui, à ma connaissance, n'ont été suivis d'aucune décision de principe.

« 2° Le réseau de l'État comporte un développement de 2,500 kilomètres environ.

« A la date de ce jour, 1,033 voitures comprenant 137 premières classes, 130 deuxièmes classes, 579 troisièmes, 46 mixtes et 141 fourgons, sont munies du frein. En outre, 268 véhicules divers (voitures poste, voitures cellulaires, etc.) sont pourvus de tuyaux de conduite et de boyaux de raccordement permettant de les intercaler dans les trains. 101 locomotives

de types divers sont munies du compresseur, et la plupart d'entre elles sont également pourvues de blocs de frein. Un grand nombre d'assortiments encore en magasin sont montés au fur et à mesure qu'il est possible de le faire. La plupart des trains circulant sur les lignes du Nord (Bruxelles-Anvers), de l'Est (Bruxelles à la frontière allemande), et de l'Ouest (Bruxelles à Ostende) sont appareillés.

« 3° Le montage du frein ne présente rien de particulier c'est celui adopté, je pense, sur le réseau de l'Ouest. Un certain nombre de voitures portent l'accouplement simple avec robinet; d'autres, l'accouplement automatique avec papillon. A ce sujet, je crois devoir vous faire connaître que cet accouplement a présenté chez nous certains inconvénients : la poussière, en s'introduisant entre les surfaces frottantes, donne lieu à des difficultés d'entretien; en outre, la position du boyau est défectueuse, en ce sens que, lorsqu'il doit être accroché au faux accouplement de la traverse (cas de la dernière voiture d'un train), il est forcément tordu et en contact avec les chaînes de sûreté, ce qui en amène la détérioration. La première disposition avec robinet et tuyau en col de cygne est généralement préférée par nos ingénieurs.

« 4° Il s'est produit, dans ces derniers temps, par suite de la qualité défectueuse de certains caoutchoucs, un assez grand nombre de ruptures de boyaux en cours de route. Ces cas d'avaries n'ont pas fait l'objet de notes spéciales; mais aucun n'a présenté d'autre inconvénient que quelques minutes de retard pour mettre tout en ordre.

« 5° Depuis les essais qui nous ont conduit à l'adoption du frein Westinghouse, des expériences spéciales sur la durée des arrêts n'ont pas été faites, mais l'opinion de tout le personnel est qu'il en résulte une économie notable de temps.

« 6° En ce qui concerne la descente des longues inclinaisons, nous n'avons pas eu l'occasion de faire des observations suivies, les parties accidentées du réseau n'étant pas encore parcourues par des trains appareillés. Cette circonstance s'explique par le fait que les premières voitures qui ont été munies du frein sont celles des derniers modèles, c'est-à-dire les plus lourdes et, par conséquent, celles que l'on emploie le moins possible sur les fortes déclivités. Sur les lignes du Luxembourg, notamment, la descente des pentes se fait par l'emploi de la contre-vapeur.

« 7° L'entretien des appareils se réduit à fort peu de chose, sauf quelques ruptures de boyaux.

« 8° Quant aux signaux d'intercommunication du système Westinghouse, nous n'en avons fait jusqu'ici aucune application.

« En résumé, nous sommes très satisfaits de l'adoption du frein Westinghouse. Le personnel des trains en apprécie tous les avantages qui deviendront bien plus marqués quand tout le matériel sera monté.

« Voilà, mon cher Collègue, les seules indications générales que je puis

vous donner, dans l'ordre d'idées du programme que vous m'avez communiqué. J'espère qu'elles vous suffiront et je vous prie d'agréer l'assurance de mes sentiments les plus dévoués. « BELPAIRE. »

Séance du 15 Juillet 1881.

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. HAUET demande à présenter quelques observations sur le procès-verbal de la séance du 1er juillet.

Au sujet du décrochement des wagons à Motteville, M. Hauet demande qu'il soit constaté que M. Morandiere avait parlé de ce fait dans sa communication et que, par conséquent, il n'a pas introduit une question étrangère au débat.

M. HAUET demande ensuite s'il ne serait pas utile, lorsqu'il y a une élection, que le nombre des votants et des voix obtenues fussent indiqués au procès-verbal.

M. LE PRÉSIDENT répond que le résultat de l'élection qui a eu lieu dans la dernière séance a été inséré dans la forme traditionnelle.

Après ces observations, le procès-verbal de la séance du 1er juillet est adopté.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture de la lettre de remerciements, que M. le Maire de la ville de Newcastle lui a adressée, au sujet de la somme de 1,000 francs votée par le Comité pour participer à l'érection du Collège Stephenson :

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir de faire part à la Société des nominations suivantes dans l'ordre national de la Légion d'honneur :

M. Castel (Émile), au grade d'officier; MM. Buquet (Paul) et Mallet (Paul), au grade de chevalier.

L'ordre du jour appelle la discussion sur la communication de M. Tresca,

relative aux formules de résistance des matériaux de M. le Dr Weyrauch; M. Seyrig a la parole.

M. Seyrig. Je crois que la question de la résistance des métaux est assez importante pour que la discussion actuelle doive être aussi approfondie que possible. Or, elle ne peut être véritablement utile et complète que si l'on connaît les expériences qui ont servi de base à la nouvelle théorie de M. Weyrauch, exposée il y a quinze jours par M. Tresca. Je crois donc utile de résumer les résultats de ces expériences, commencées il y a plus de quinze ans par M. Wöhler, et continuées plus tard par M. Spangenberg.

M. Wöhler, se préoccupant du mode de travail du métal dans les essieux de chemins de fer, se demandait quel était l'effet des efforts répétés un grand nombre de fois. La rupture se produisait souvent, dans ces pièces, sous des efforts bien inférieurs aux coefficients de rupture que donnait, le même métal, sous une charge lente ou statique. Il soumit donc des échantillons de métaux divers à des efforts répétés un grand nombre de fois, et se produisant sous forme de traction, de flexion ou de torsion. Il déduisit de ces expériences un certain nombre de lois générales, qui ne doivent pas être considérées encore comme établies de la manière la plus absolue, mais qui ont pour elles, au moins, toutes les chances de probabilité. Voici ces lois.

I. *Lorsqu'une pièce subit un certain nombre de fois des efforts provenant d'une charge alternativement appliquée et enlevée, ou bien diminuée seulement, la rupture se produit sous une moindre fatigue par unité de section, que lorsque la charge est appliquée doucement.*

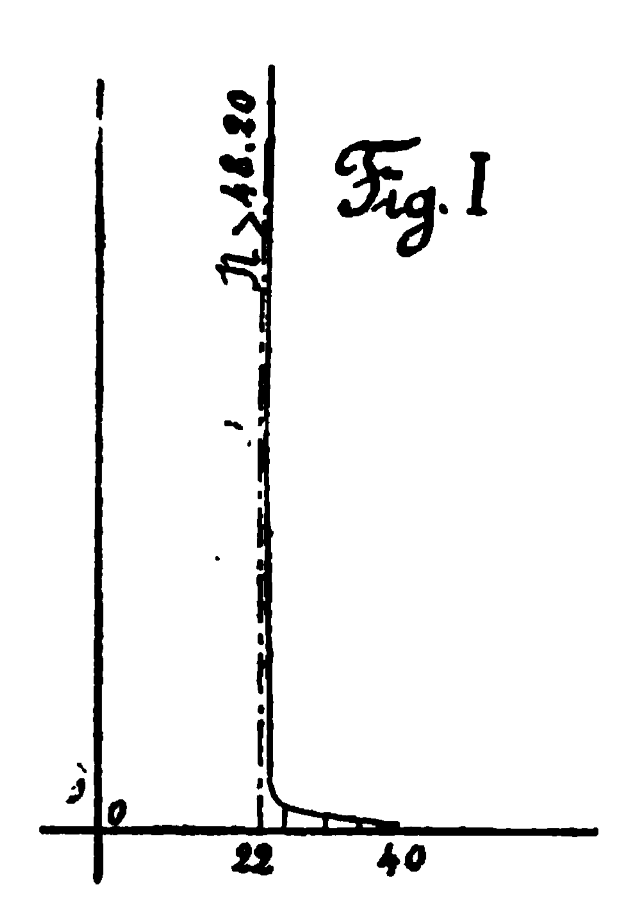
C'est l'énoncé général d'un fait que tout le monde soupçonne, mais qui n'avait pas été prouvé par expérience. M. Fairbairn, toutefois, l'avait déjà reconnu par un très petit nombre d'expériences faites sur des poutres rivées.

II. *Le nombre de répétitions de l'effort nécessaire à la rupture est d'autant plus grand que le coefficient de travail maximum est plus faible, le travail minimum restant le même.*

Voici une série d'expériences faites sur du fer d'essieux, provenance des usines du Phénix, où le travail minimum a été zéro. Le travail maximum a varié de 2,200 kil. par centimètre carré à 4,000 kilog. Le nombre n étant celui de la répétition de l'effort nécessaire pour déterminer la rupture a été le suivant :

Le travail variant de	0 à 2,220k	par centim. carré	$n >$ 48,20	millions.
—	0 à 3,500k	—	$n =$ 1,50	—
—	0 à 3,000k	—	$n =$ 0,86	—
—	0 à 3,500k	—	$n =$ 0,45	—
—	0 à 4,000k	—	$n =$ 0,17	—

Les résultats de ces expériences sont représentés graphiquement par la figure 1 ci-dessous. Les coefficients du travail maximum sont portés en abscisses, les valeurs de *n* en ordonnées. Elle permet de se rendre compte



très nettement de l'influence de la grandeur de l'effort variable. Les autres qualités de fer soumises aux expériences, de même que l'acier, ont donné des résultats se traduisant par des courbes analogues, mais de forme et de position légèrement différentes.

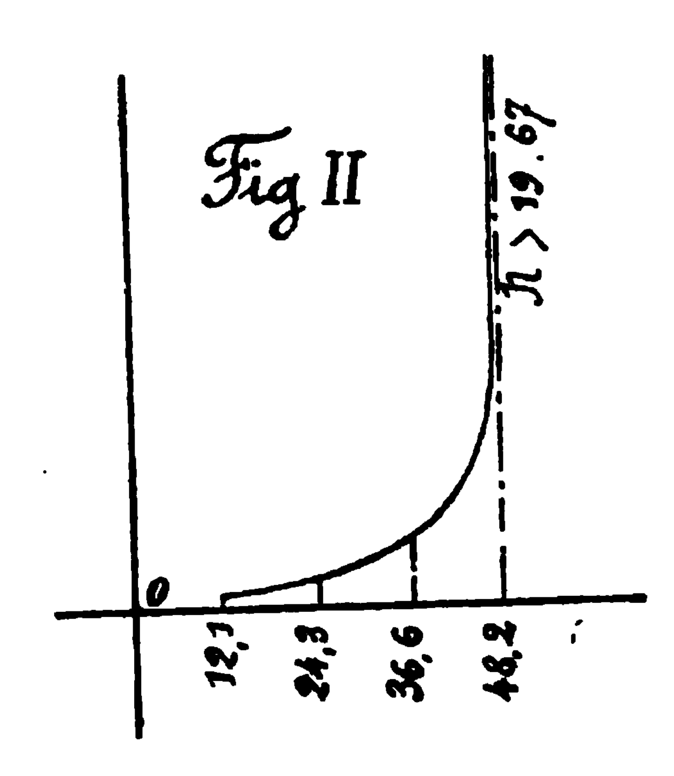
III. *Le nombre de répétitions de l'effort nécessaire à la rupture est d'autant plus grand que le coefficient de travail minimum est plus grand, — le travail maximum restant d'ailleurs le même.* Les résultats suivants ont été fournis par une série d'expériences sur de l'acier à ressorts.

Le travail variant de 1,210 kil. à 7,300 kil. par centimètre carré, la rupture avait lieu avec $n = 0{,}06$ millions.
Le travail variant de 2,430 kil. à 7,300 kil. par centimètre carré, la rupture avait lieu avec $n = 0{,}15$ millions.
Le travail variant de 3,660 kil. à 7,300 kil. par centimètre carré, la rupture avait lieu avec $n = 0{,}40$ millions.
Le travail variant de 4,820 kil. à 7,300 kil. par centimètre carré, la rupture n'avait pas lieu lorsque $n = 19{,}67$ millions.

La figure 2 rend compte de l'accroissement très rapide du nombre d'efforts nécessaires à la rupture, lorsque la limite inférieure de la fatigue augmente, c'est-à-dire lorsque le métal reste toujours sous charge.

IV. *Quand le travail maximum reste au-dessous d'une certaine limite, il n'y a jamais rupture, quel que soit le nombre de répétitions.* C'est cette limite

que MM. Launhardt et Weyrauch appellent a dans les formules expliquées par M. Tresca. Elle devient u lorsque le coefficient minimum est zéro.



V. *Cette limite de non-rupture* a *est d'autant plus élevée que le travail minimum est plus grand.* La série de résultats suivants, obtenus en expérimentant du fer de très bonne qualité, résume les limites entre lesquelles on a fait varier le travail dans l'unité de section, pour ne pas aboutir à la rupture.

Ces limites ont été :	de — 1,170ᵏ	à + 1,170ᵏ	par centimètre carré.
—	0ᵏ	à + 2,340ᵏ	—
—	+ 1,750ᵏ	à + 3,220ᵏ	—
—	+ 3,290ᵏ	à + 3,290ᵏ	—

Ce dernier chiffre correspondant à la charge dite *statique*.

Il convient de faire, sur ces lois et les expériences d'où elles ont été déduites, un certain nombre d'observations.

Tout d'abord elles sont encore peu nombreuses. Leur durée est très longue et l'on ne peut pas aller vite, puisqu'il s'agit toujours de soumettre une pièce à un nombre d'efforts qui se chiffrent par centaines de mille ou par millions. — Le plus grand nombre d'essais a été fait sur de l'acier. On peut toutefois, de la concordance des résultats, conclure déjà à une similitude de nature, entre l'acier et le fer, plus grande qu'on ne le supposait autrefois. On trouve en effet un rapport presque constant entre la résistance *à l'oscillation* des efforts, autour de zéro, de $+a$ à $-a$ et la résistance u. Pour le fer ce rapport est de $\frac{7}{12}$, pour l'acier il est de $\frac{8}{15}$, quelles que soient d'ailleurs les provenances diverses des matériaux.

Ces provenances sont elles-mêmes encore assez restreintes. On a expérimenté surtout sur du fer du Phénix et de l'acier Krupp pour essieux, puis sur quelques échantillons de fer d'excellente qualité et enfin sur un petit

nombre d'aciers de provenance anglaise. Si concordants que soient les résultats, ils sont encore trop peu nombreux pour qu'on ne fasse pas quelques réserves lorsqu'il s'agit de généraliser. Ils le sont largement assez pour attirer l'attention des constructeurs et pour permettre d'espérer, qu'un jour prochain, il nous sera permis de voir plus clair dans la constitution intime de la matière que nous employons.

Il faut surtout remarquer que les efforts auxquels on a soumis les échantillons ont été très rapidement suivis l'un par l'autre. On n'a pas laissé, en quelque sorte, la matière se reposer entre deux efforts. Dans les grosses constructions (ponts, charpentes, bateaux, etc.) c'est l'inverse qui se produit, et on doit se demander si, pendant ces intervalles de repos, les molécules ne reprennent pas plus facilement leur position et leur résistance primitives. C'est là une question qui exigerait encore plus de temps pour la résoudre, et qui serait cependant du plus haut intérêt.

Les expériences déjà faites ont donné pour les valeurs a et u, appliquées à différents métaux, une série de résultats qui sont le principal fruit des travaux de M. Wöhler. Comme ces valeurs de a et de u servent de base aux recherches de MM. Launhardt et Weyrauch, nous croyons utile de les donner ici au complet, les résumant en tableau.

Tableau des valeurs limites du travail de divers métaux pour lesquels il n'y

NOM DE L'OBSERVATEUR.	NUMÉRO D'ORDRE.	MATIÈRE SOUMISE A L'EXPÉRIENCE.	MODE D'EXPÉRIENCE.	EFFORTS EN TONNES par centimètre carré. MINIMA.	MAXIMA.
					Tous positifs.
		A. Fer.			
		ESSIEUX EN FER DU PHÉNIX, 1857.			
Wöhler.	1	Avec congé arrondi	Flexion.	— 1,17	1,17
	2	Avec congé à angle vif	»	— 1,17	1,17
	3	» »	»	— 1,02	1,02
	4	» »	»	0	2,19
	5	Avec congé arrondi	Traction.	0	2,34
	6	Avec congé à angle vif	»	0	2,63
	7	Avec congé arrondi	»	+ 1,75	3,22
	8	» »	Traction statique	+ 3,22	3,22
	9	» »	»	+ 3,29	3,29
		FER DE WESTPHALIE, PROVENANT DE LA HEINRICHSHÜTTE.			
Spangenberg.	10	Avec congé arrondi	Flexion.	— 1,75	1,75
	11	» »	Traction.	0	2,34
	12	» »	Flexion.	0	2,63
		FER ANGLAIS.			
	13	Avec congé arrondi	»	— 1,46	1.46
	14	» »	»	— 1,75	1,75
		FER HOMOGÈNE DE PEARSON, COLEMAN AND SONS.			
Wöhler.	15	Congé arrondi	»	— 1,75	1,75
	16	»	»	0	2,92
	17	(Moyenne de 3 essais)	Traction statique	+ 4,28	4,28
		B. Acier.			
		ACIER FONDU KRUPP.			
Spbg.	18	Essieu en acier fondu, 1873	Flexion.	— 2,27	2,27
Wöhler.	19	A congé avec angle vif, 1862	»	— 1,90	1,90
	20	Congé arrondi, 1862	»	— 2,19	2,19
	21	Acier à ressorts, 1873	»	0	3,29
	22	»	»	0	3,65
	23	Essieu, acier fondu, 1862	»	0	3,65
	24	Tôle	»	0	3,65
	25	Acier à ressorts, fondu	»	0	4,39
	26	Essieu acier fondu, congé arrondi	Traction.	0	3,36
	27	Essieu acier fondu à angle vif	»	0	2,19

avait jamais rupture, si grand que fût le nombre des répétitions de l'effort.

NOM DE L'OBSERVATEUR.	NUMÉRO D'ORDRE.	MATIÈRE SOUMISE A L'EXPÉRIENCE.	MODE D'EXPÉRIENCE.	EFFORTS EN TONNES par centimètre carré. MINIMA.	MAXIMA.
Wöhler. Spbg.	28	Essieu acier fondu........................	Flexion.	0	3,20
	29	Essieu acier fondu, 1872..................	Traction.	0	3,65
	30	Barre d'acier à ressorts fondu.............	Flexion.	+ 1,83	5,12
	31	» »	»	+ 2,19	5,42
	32	» »	»	+ 2,92	5,85
	33	» »	»	+ 4,09	5,85
	34	» »	»	+ 4,38	6,58
	35	» »	»	+ 4,82	7,37
	36	» »	»	+ 6,58	8,77
	37	Essieu acier fondu, congé arrondi, 1862.....	Traction.	+ 2,56	5,85
	38	» »	»	+ 2,92	5,85
	39	» (moyenne de 3 essais).	Traction statique	+ 7,62	7,62
	40	» 1853 (moy. de 2 essais).	»	+ 6,40	6,40
	41	Tôle en acier fondu........................	»	+ 5,34	5,34
	42	Rail acier fondu, 1864....................	»	+ 7,38	7,38
Wöhler.		ACIER FONDU DE L'UNION DE BOCHUM.			
	43	Essieu congé arrondi.......................	Flexion.	+ 1,90	1,90
	44	»	»	0	3,29
	45	Essieu.....................................	Traction statique	+ 6,47	6,47
		ACIER FONDU DE VICKERS ET SONS.			
	46	Essieu congé arrondi.......................	Flexion.	— 1,61	1,61
	47	Essieu.....................................	Traction statique	+ 4,24	4,24
		ACIER DE FIRTH AND SONS.			
	48	Acier à outils, congé arrondi..............	Flexion.	— 1,61	1,61
Spbg.	49	Acier fondu................................	»	— 1,75	1,75
	50	Acier......................................	»	0	3,29
	51	Acier fondu................................	Traction.	0	3,36
	52	Acier à outils.............................	Traction statique	+ 8,40	8,40
Wöhler.		ACIER FONDU DE BORSIG.			
	53	Essieu congé arrondi.......................	Flexion.	— 1,83	1,83
	54	Essieu à angle vif.........................	»	— 1,46	1,46
	55	Tôle d'acier fondu.........................	Traction statique	+ 5,04	5,04
	56	Acier......................................	»	+ 5,86	5,86

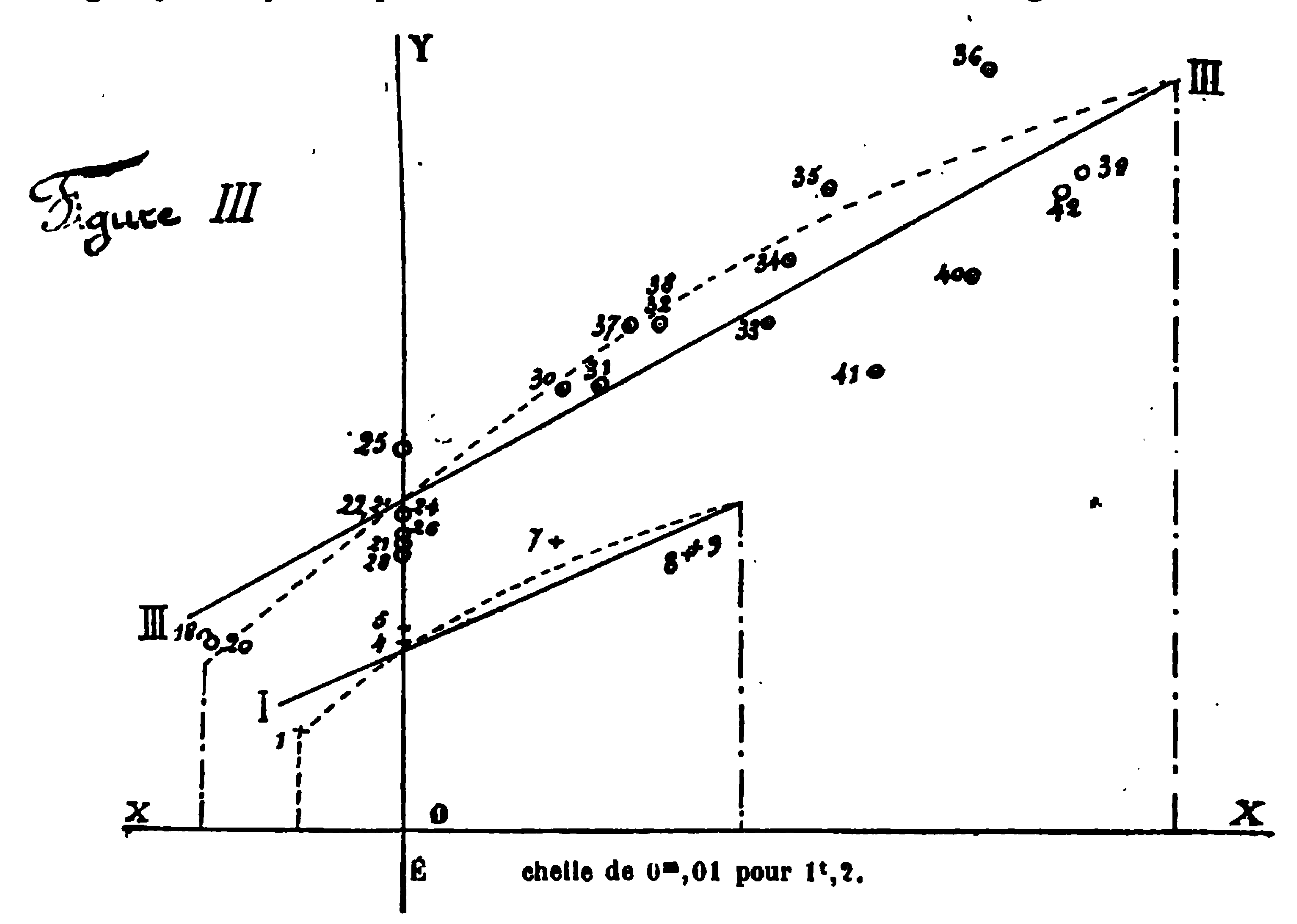
Les résultats consignés au tableau précédent sont ceux qui, traduits en formules, ont donné :

A M. Launhardt $a = u\left(1 + \frac{t-u}{u}\ \frac{\text{min. B}}{\text{max. B}}\right)$,

A M. Weyrauch $a = u\left(1 - \frac{t-s}{s}\ \frac{\text{min. B}}{\text{max. B}}\right)$.

Mais il n'est pas facile de se rendre compte et de suivre le procédé par lequel ces formules ont été obtenues, et même dans son ouvrage allemand M. Weyrauch se borne à dire que le coefficient α répond aux conditions extrêmes, correspondantes aux valeurs de u et de s. Quant à la concordance des valeurs intermédiaires, il n'en dit rien. Nous aimons à voir plus clair dans la manière de procéder, et à ce titre les recherches de M. le Dr Winkler, jadis professeur à l'Université de Vienne, offrent de l'intérêt. Nous allons les exposer très sommairement.

Si l'on représente graphiquement les résultats du tableau précédent, en choisissant, par exemple, ceux qui se rapportent au fer du Phénix (expériences 1 à 9) et à l'acier Krupp (expériences 18 à 42), on obtient des groupes de points qui ont une certaine continuité. Dans la figure les va-



leurs de c (l'effort minimum par centimètre carré), ont été portées en abscisses, les valeurs de a correspondantes ont été portées en *ordonnées* [1].

1. Dans la figure 3 les courbes en pointillé sont celles qui résulteraient de la formule Launhardt pour $c > o$ et de la formule Weyrauch pour $c < o$.

Il s'agit de trouver quelle est la courbe qui les résume, avec le plus d'approximation possible. On ne la connaît point par avance, et on peut admettre qu'elle est une droite aussi bien que toute autre courbe. M. Winkler est parti de cette supposition, et il a admis qu'elle avait pour équation :

$$a = u + \alpha c.$$

Appelons R_t la résistance *statique*, à la traction. On aura évidemment, pour $c = R_t$, également $a = R_t$.

D'où l'on déduit :

$$R_t = u + \alpha R_t,$$

et

$$u = R_t (1 - \alpha).$$

En se servant des expériences 1, 4, 5, 7, 8 et 9, qui sont reproduites à la figure 3, on peut, en se servant de la méthode des moindres carrés, trouver la droite qui répond le mieux aux chiffres d'expériences. On trouve ainsi :

$$u = 2{,}02 \quad \text{et } \alpha = 0{,}47.$$

La formule devient donc :

$$a = 2{,}02 + 0{,}47c.$$

Une autre série d'expériences, n°s 10 à 17, faites sur du fer d'une meilleure qualité, a donné de même

$$a = 2{,}49 + 0{,}43\,c.$$

Nous pouvons remarquer immédiatement quel étroit rapprochement il y a entre les deux valeurs de α, malgré la différence de valeur de u. On sera donc très près de la vérité en admettant que $\alpha = 0{,}45$.

Le groupe d'expériences sur l'acier Krupp, n°s 18 à 42, a donné une autre formule analogue

$$a = 3{,}72 + 0{,}57\,c.$$

Enfin les expériences 43 à 53 et 56, ont donné :

$$a = 2{,}95 + 0{,}56\,c.$$

Ici encore, pour des qualités d'acier très différentes les valeurs de α sont sensiblement les mêmes.

Mais, remarque M. Winkler, puisque $u = (1 - \alpha) R_t$,

on aura immédiatement :

Pour le fer $\quad a = 0{,}55\ R_t + 0{,}45\,c,$

Pour l'acier $\quad a = 0{,}44\ R_t + 0{,}56\,c.$

Ces formules permettent de faire c négatif, à condition toutefois que a

ne devienne pas plus petit que — c, c'est-à-dire que la limite de c sera — 0,38 R_t pour le fer et — 0,28 R_t pour l'acier.

Les expériences relatives à la compression des métaux manquent encore. On peut cependant conclure de celles à la flexion, qui compriment la matière dans une partie de l'échantillon, que la formule sera analogue à la précédente, c'est-à-dire qu'on pourra poser :

$$a = (1 - \alpha_1)\, R_c + \alpha_1 c.$$

M. Winkler remarque qu'il y a deux cas où les valeurs de a sont semblables pour la tension et pour la compression. Ce sont celles qui donnent la résistance à l'*oscillation* autour de zéro. Si nous désignons par R_o ce travail du métal, on aura, d'une part :

$$R_o = (1 - \alpha)\, R_t - \alpha\, R_o\,,$$

d'où

$$R_o = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} R_t,$$

et, d'autre part :

$$R_o = (1 - \alpha_1)\, R_c - \alpha_1\, R_o\,;$$

d'où encore,

$$R_o = \frac{1 - \alpha_1}{1 + \alpha_1} R_c\,.$$

De l'égalité de ces expressions de R_o on tire :

$$\alpha_1 = \frac{(1 + \alpha)\, R_c - (1 - \alpha)\, R_t}{(1 + \alpha)\, R_c + (1 - \alpha)\, R_t}\,.$$

α étant connu et égal à 0,45 pour le fer, si l'on admet, comme on le fait souvent, que $R_c = \frac{7}{8} R_t$, on en déduit $\alpha_1 = 0.40$.

Pour l'acier $\alpha = 0,56$ et $R_c = \frac{5}{4} R_t$, d'où $\alpha_1 = 0,63$.

Les formules générales deviendraient donc pour la compression :

Pour le fer	$a = 0,60\, R_c + 0,40\, c.$
Pour l'acier	$a = 0,37\, R_c + 0,63\, c.$

Ces expressions traduites graphiquement donnent des lignes ayant une inclinaison légèrement différente de celles qui réprésentent les valeurs de a à la traction.

On a reproché à toutes ces théories d'être purement empiriques. Il faut cependant remarquer que tout ce que nous savons de la résistance des matériaux repose plus ou moins sur l'empirisme. La science mathématique pure a fait reconnaître la vérité d'un certain nombre de lois déduites des expériences; mais la plupart de ces lois sont simplement la traduction de

faits isolés que l'on a réussi, absolument comme dans le cas actuel, à grouper dans un certain ensemble. De cet ordre sont notamment les données que nous possédons sur l'élasticité de la matière. Il ne semble donc pas qu'il y ait ici un empirisme plus fautif que dans d'autres théories du même ordre.

Comment appliquer ces formules? Celles de MM. Launhardt et Weyrauch tiennent immédiatement compte des valeurs maxima et minima, des efforts auxquels il s'agit de proportionner les pièces, et le coefficient de sécurité se trouve fixé une fois pour toutes à 3. M. Winkler suit un procédé un peu différent. Résumons encore brièvement son raisonnement.

Il pose, en principe, qu'il est rationnel d'adopter un même coefficient de sécurité n pour la charge permanente et les surcharges accidentelles. Supposons une pièce soumise à un effort permanent P_o et à un autre effort variable pouvant atteindre la valeur P_1, de même sens que P_o. Il faut alors que l'on ait, Ω étant la section de la pièce :

$$a = \frac{n\, P_{max.}}{\Omega}, \text{ et } c = \frac{n\, P_{min.}}{\Omega}.$$

Ce sont ces valeurs qui doivent résulter de la formule $a = (1-\alpha)\, R_t + \alpha c$. Si R est la résistance admise pour une charge statique, on aura $R = \frac{R_t}{n}$, et on aura :

$$P_{max.} = (1-\alpha)\, R\,\Omega + \alpha\, P_{min.},$$

ou, puisque

$$P_{min.} = P_o \text{ et } P_{max.} = P_o + P_1$$

$$P_o + P_1 = (1-\alpha)\, R\Omega + \alpha P_o;$$

d'où enfin :

$$\Omega = \frac{P_1 + (1-\alpha)\, P_o}{(1-\alpha)\, R} = \frac{P_o}{R} + \frac{P_1}{(1-\alpha)\, R}. \qquad (1)$$

L'examen d'un très grand nombre de constructions existantes et bien construites a montré que le coefficient de sécurité moyen, que l'on a adopté pour le fer, est d'environ 2,8. Pour l'acier, il en existe encore peu, et M. Winkler trouve qu'il serait préférable de prendre $n = 3{,}2$. Dans ce cas, les coefficients R auxquels on serait conduit sont les suivants :

	Fer.		Acier.	
Pour la traction.	1,400	kil. par cmq.	1,800	kil. par cmq.
Pour la compression. . .	1,200	—	2,200	—
Pour le cisaillement. . .	1,150	—	1,500	—

Ce coefficient de sécurité variera d'ailleurs évidemment suivant les préférences de chacun et d'après des raisons diverses; par exemple, la plus ou moins grande durée que l'on veut assurer à l'ouvrage, la précision avec laquelle on connait les efforts qui se produiront, etc., etc.

α et α_1 étant déterminés ci-dessus, la formule (1) devient en adoptant le coefficient ci-dessus :

Pour le fer soumis à une traction seulement ou bien à des efforts où la traction domine :

$$\Omega = \frac{1{,}82\, P_{max.} - 0{,}82\, P_{min.}}{1400} = \frac{P_0}{1400} + \frac{P_1}{770} + \frac{P_2}{1700}.$$

Lorsque la compression seule existera ou bien sera prédominante :

$$\Omega = \frac{1{,}67\, P_{max.} - 0{,}67\, P_{min.}}{1200} = \frac{P_2}{1200} + \frac{P_1}{720} + \frac{P_2}{1800}.$$

Lorsque les efforts ne changent pas de sens, $P_2 = 0$. Sous des alternances d'efforts, il faut prendre $P_{min.}$ négatif dans la dernière formule.

Les formules analogues, relatives à l'acier, seront facilement déterminées.

Il est intéressant de comparer les résultats que donnent ces formules avec ceux obtenus par les autres méthodes. Il convient à ce propos de se rappeler que pour des ponts nous avons l'habitude, en France, de suivre tout simplement la règle administrative qui veut que, quel que soit le mode de répartition des efforts, le métal ne travaille sous $P_{max.}$ qu'à 600 kilogrammes par centimètre carré, et qui admet toujours ce chiffre. Pour des pièces mécaniques, on fait varier au jugé les efforts maxima, descendant dans certains cas jusqu'à 400 ou 300 kilogrammes par centimètre carré.

Les formules allemandes donnent les résultats suivants. Dans ce tableau φ est le rapport des efforts minima aux efforts maxima dans les pièces calculées.

Pour la traction seule :

	$\varphi = 0$	$\varphi = 0{,}25$	$\varphi = 0{,}5$	$\varphi = 0{,}75$	$\varphi = 1$
Launhardt..........	800	900	1000	1100	1200
Weyrauch..........	700	787	875	963	1050
Winkler............	591	690	831	1042	1400

Pour des efforts alternatifs de traction et de compression :

Launhardt..........	800	640	533	457	400
Weyrauch..........	700	613	525	438	350
Winkler. $\varepsilon_0 = 0$..	590	530	481	440	406
$\varepsilon_0 = 1$..	675	597	535	485	444

Dans ce dernier tableau, ε_0 est le rapport $\dfrac{P_0}{P_{max.}}$.

Ces résultats permettent de se rendre compte immédiatement de la portée qu'auraient les théories exposées si l'on était conduit à les reconnaître comme absolument fondées. Si, d'une part, on peut, dans certain cas admettre avec la même sécurité que celle qui est en réalité adoptée dans les ouvrages existants, un travail de 1,200 et 1,400 kilogrammes par centi-

mètre carré au lieu de 600 kilogrammes, on voit quelle économie rationnelle et bien entendue il est encore permis d'espérer. Si, d'autre part, dans certains cas, on ne doit faire travailler le métal qu'à 400 kilogrammes, il est évident qu'un grand nombre d'ouvrages existants n'ont qu'une sécurité relativement bien moindre que celle qu'on leur supposait jusqu'ici.

M. Marché se proposait de faire précéder la discussion sur la communication de M. Tresca et les formules de Launhardt et Weyrauch, d'un exposé du résultat des expériences de Wöhler; il est dispensé de cette tâche par les détails si complets que vient de fournir M. Seyrig.

Les expériences de Wöhler ont duré douze ans; elles présentent un très grand intérêt et elles ont été poursuivies avec trop de persévérance, effectuées avec trop de soin pour qu'on en puisse contester l'exactitude et en contredire les conclusions, c'est-à-dire les lois qu'il a formulées.

Mais, les ingénieurs allemands et anglais vont plus loin que Wöhler lui-même, et de ses essais et de ses lois, ils ont déduit une théorie complète, des formules nouvelles pour la détermination des dimensions des pièces, et c'est ici qu'il y a lieu de fixer notre attention.

Des expériences de Wöhler, on a conclu à l'existence d'une nouvelle donnée à introduire dans les calculs de résistance des matériaux; c'est la valeur *u* des formules de Launhardt, quantité désignée par les auteurs allemands sous le nom de: *Ursprungsfestigkeit;* par les anglais, *Primitive strength;* et par M. Tresca, *Charge naturelle de rupture.*

C'est sur l'existence, la nature et la valeur de charge *u* qu'il convient d'abord de se mettre d'accord.

M. Marché rappelle un des essais de Wöhler, celui fait sur des échantillons de fer du Phénix. Dans cette expérience, les pièces étaient soumises à un effet de flexion, la charge étant alternativement appliquée et retirée, on a trouvé que si l'effort par millimètre carré de la fibre la plus fatiguée était de 41 kil. 25, la pièce se rompait après avoir subi 169,750 courbures.

Avec un effort de :

37 kil. 50,	la rupture se	produisait après	420,000	courbures.
33 kil. 75,	—	—	482,000	—
30 kil.	—	—	1,320,000	—
27 kil.	—	—	4,035,000	—

Enfin si l'effort est réduit à 22 kil. 50, la pièce subit jusqu'à 48,000,000 de courbures sans qu'il y ait des traces de rupture.

C'est cette valeur, cette limite de 22 kil. 50, qui est la quantité *u* admise dans les formules allemandes.

Le tracé donné précédemment par M. Seyrig montre que cette quantité est l'abcisse de l'asymptote verticale de la courbe qui représenterait la loi des variations du nombre de courbures nécessaires pour produire la rupture avec un effort donné.

On remarquera que la détermination de cette limite sera difficile à faire avec une grande précision.

Des essais analogues sur des échantillons d'acier Krupp provenant d'essieux ont donné une valeur de u, d'environ 37 kil.

Ces deux valeurs de u, 22 kil. pour le fer, 37 kil. pour l'acier, sont, il faut bien le reconnaître, les seules qu'on peut déduire des nombreuses expériences de Wöhler.

Or, le fer essayé par Wöhler a une résistance à la rupture qui peut être évaluée à 42 ou 43 kil. à la flexion, ce qui correspond à une limite d'élasticité de 21 à 22 kil. L'acier Krupp a donné une résistance à la rupture de 76 kil., ce qui correspond à une limite d'élasticité d'environ 38 kil. Les deux valeurs de u dont il vient d'être question sont donc sensiblement les mêmes que celles de la limite d'élasticité.

Il y a donc lieu de regretter que les expérimentateurs allemands se soient, si complètement, désintéressés de la détermination de la limite d'élasticité et il est singulier que se refusant à reconnaître à cette limite d'élasticité l'importance que nous lui donnons en France, ils arrivent à introduire dans les formules une nouvelle donnée qui ne serait pas autre chose sous un autre nom que cette même limite d'élasticité.

Faut-il conclure de ce rapprochement qu'il suffit que la limite d'élasticité soit dépassée pour que la rupture d'une pièce soit certaine quand elle sera soumise à un nombre suffisant de courbures et de redressements? De nouvelles expériences seraient nécessaires pour qu'on puisse l'affirmer.

M. Marché croit d'ailleurs que si de nouveaux essais étaient faits, il importerait de procéder autrement que Wöhler et de ne pas seulement constater les nombres de courbures qui amènent la rupture.

Si des pièces soumises à des efforts répétés sont brisées sous des charges inférieures à la résistance statique, c'est que les vibrations produisent des modifications dans l'état moléculaire qui se manifesteront ou par une diminution de la cohésion ou par un déplacement de la limite d'élasticité. Il faudrait donc après avoir fait supporter à une pièce un certain nombre de courbures et de redressements, vérifier si sa limite d'élasticité est ou non restée la même et aussi constater ce qu'est devenue sa résistance statique.

Quoi qu'il en soit, on peut conclure des expériences de Wöhler que des efforts, inférieurs à la limite d'élasticité, peuvent être indéfiniment répétés, sans qu'une pièce soit en danger de rupture, sans que rien soit modifié dans son état moléculaire. Dans ce cas, on se demande s'il est logique d'établir entre les variations de charges, maintenues toutes dans des limites toujours inférieures à la limite d'élasticité, les relations, les rapports trouvés entre des charges qui produisent la déformation permanente.

M. Tresca. Au point où en est arrivé la discussion on peut dire déjà qu'elle a porté ses fruits, puisque nous savons maintenant, par les explications de M. Seyrig, en quoi consistent les expériences de Wöhler, trop peu connues parmi nous.

Nous voilà bien fixés : ces expériences ne sont pas nombreuses; elles sont d'un genre particulier qui les différencie de toutes les nôtres, mais, en

définitive, elles ne démontrent pas que la limite de rupture ou de non-rupture, comme on voudra l'appeler, fournit nécessairement, au point de vue de la charge pratique, une base plus certaine que la considération de la limite d'elasticité. La théorie générale de la résistance des matériaux, telle que nous la comprenons en France n'en reçoit pas un progrès décisif qui s'impose et qui soit de nature à transformer nos méthodes.

Dans mon opinion cependant, les expériences de Wöhler considérées dans leur ensemble, agrandissent le domaine de nos connaissances et provoquent des considérations fort importantes sur la constitution de la matière et sur les altérations dont cette constitution peut être l'objet.

En effet, si une pièce résiste moins à des chargements successifs qu'à des chargements permanents, c'est qu'il se produit dans le premier cas, par la succession des effets, des relations moléculaires différentes, que l'on peut rattacher à la rupture que l'on observe sur les essieux après un très long parcours. Ces modifications ne se produisent-elles sur aucun point en deçà de la limite d'élasticité? C'est ce que les expériences de Wöhler n'établissent pas et ce qu'il serait cependant indispensable de démontrer pour justifie les formules approximatives, mais un peu empiriques, de Launhardt et de Weyrauch.

L'expérience des essieux est même plus concluante, parce qu'après avoir été tordus et détordus un certain nombre de fois, les essieux en fer laissent apercevoir la constitution fibreuse qui y était complètement cachée tout d'abord. Les disjonctions qui se produisent dans ces expériences expliquent même le grain de la cassure qui, vu au microscope, présente le plus souvent l'aspect de facettes de glissement qui se seraient formées après la rupture des fibres individuelles.

Les expériences de Wöhler nous font comprendre, en toute évidence, que des altérations analogues peuvent se produire d'une façon moins marquée beaucoup plus tôt; elles nous mettent bien plus complètement sur la voie de ces altérations dans l'arrangement moléculaire, altérations qu'il faut admettre lorsqu'on passe de la charge t à la charge u.

Ces expériences ont donc, au point de vue philosophique, un réel intérêt; elles méritent d'être prises en très sérieuse considération et nous montrent l'une des voies à suivre pour compléter nos connaissances, encore si imparfaites, sur la mécanique moléculaire.

Nous ne voyons pas cependant qu'elles jettent jusqu'ici le moindre doute sur la considération de la limite d'élasticité, qui a tout au moins le grand avantage de nous faire considérer les matériaux dans des conditions plus voisines de celles auxquelles nous nous proposons de limiter leur emploi.

En soutenant encore cette opinion, M. Tresca regrette d'avoir à ajouter qu'il a peut-être fourni la plus sérieuse objection que l'on puisse opposer à sa manière de voir.

Baser nos coefficients pratiques sur la charge qui correspond à la limite d'élasticité, n'est-ce pas en effet supposer que cette charge limite est

constante, et quelques-uns de nos Collègues se rappelleront sans doute que, dans un travail publié dans votre Bulletin, j'ai démontré indiscutablement dans des expériences de flexions sur des rails, c'est-à-dire dans des expériences simultanées de compression et d'extension, que la limite d'élasticité est essentiellement variable, un corps restant absolument élastique jusqu'à la limite à laquelle il avait été chargé précédemment.

A la place de cette permanence sur laquelle nous comptions, tout au moins jusqu'à la limite d'élasticité, voilà donc qu'il nous faut admettre une incessante variation, et même une variation qui contraste avec toutes les idées préconçues, en ce sens que, le coefficient d'élasticité restant le même, nous avons été longtemps préoccupé de cette anomalie singulière qui nous forçait à dire que les propriétés de la matière devenaient plus favorables à mesure que nous en abusions davantage.

Cette anomalie toutefois a été presque redressée par des expériences ultérieures faites dans un tout autre but. Pour les pierres calcaires, pour les ardoises qu'il nous a été donné d'étudier à la flexion, nous n'avons trouvé aucune différence entre la limite d'élasticité et la rupture; ces matières restent indéfiniment élastiques jusqu'à ce qu'elles se brisent, et c'est ainsi très probablement qu'il faut comprendre la propriété, pour ces matériaux, d'être essentiellement cassants. Cette constatation nous a confirmé dans la pensée que l'on pouvait améliorer, en les chargeant outre mesure, certains fers par exemple, en reculant leur limite d'élasticité par l'usage, mais on les rapproche alors de ces matériaux cassants et ils ne nous donnent plus pour un emploi permanent la même foi dans leur inaltérabilité.

Pour revenir à notre sujet principal, nous devons ajouter que si nous avons perdu toute confiance dans la fixité de la limite d'élasticité, rien n'indique, cependant, qu'en deçà de cette limite, telle qu'elle a été constatée une première fois, les matériaux eussent été altérés. Dès lors, nous pourrions considérer encore cette limite, en quelque sorte naturelle, comme la base la plus sûre de nos formules et persévérer dans nos méthodes de calcul.

M. Émile Trélat. J'ai écouté avec le plus vif intérêt la communication de M. Tresca et les développements qu'y a donnés M. Seyrig. Le sujet est de premier ordre dans une société comme la nôtre. Quelles considérations le constructeur doit-il utiliser pour déterminer la limite de fatigue que les matériaux peuvent impunément supporter dans les édifices? Quelles sont celles qui lui fourniront le plus de confiance? Faut-il mesurer les forces qui brisent les matériaux et fixer un coefficient indiquant la fraction de ces forces qu'elles porteront certainement sans s'abîmer? — C'est la méthode que prônent les Allemands, et qu'ils viennent d'étayer sur les intéressantes distinctions exposées par nos Collègues. — Faut-il déterminer les charges, au delà desquelles les défigurations des matériaux cessent d'être proportionnelles aux forces qui les attaquent et fixer un coefficient fractionnel de ces charges pour limiter le champ de la sécurité du constructeur? —

C'est la méthode généralement préconisée en France; c'est celle qu'avec M. Tresca, j'estime être la plus satisfaisante.

Il faut s'entendre et se rappeler la visée du constructeur? Quelle est-elle? Elle n'est certainement pas d'introduire des matériaux dans les édifices, pour les voir se détruire sous les charges qu'ils supportent. Elle n'est pas non plus de les y voir perdre la figure qu'il a entendu leur donner. Non. Mais elle est justement de leur assurer la conservation de cette figure apparente, à travers les fatigues qui rapprochent ou distendent les particules des organes en travail. Autrement dit, elle est de limiter ce travail à des modifications de figure insaisissables à l'œil. Il est facile de démontrer que cette condition s'impose également au constructeur par les exigences de la plastique et par celles du fonctionnement mécanique des organes assemblés dans un édifice.

Mais en invoquant, fort à propos, ses intéressantes expériences, M. Tresca vous rappelait, il y a quelques instants, qu'il fallait, entre les matières utiles au constructeur, distinguer les matériaux vulgairement appelés *cassants* et les matériaux changeant définitivement de figure avant de rompre. Les premiers sont élastiques jusqu'à la rupture, c'est-à-dire qu'ils subissent toujours des défigurations proportionnelles aux charges tant qu'ils n'ont pas atteint la ruine. Pour ceux-là il n'y a pas d'hésitation à avoir. Leur mode de résistance est uniforme, continue. Le constructeur ne peut faire qu'une chose, c'est d'éloigner les charges qui fatiguent ses matériaux de celles qui les détruiraient; c'est de prendre pour coefficient de sécurité une fraction des charges de rupture. C'est ce qu'on fait de consentement unanime et partout, pour la pierre, par exemple.

La question se complique pour les matériaux qui se détériorent dans leur figure avant de rompre sous la charge. Quand on les éprouve, on constate que la lutte de leur résistance totale se divise en deux actes distincts. Ils sont élastiques pendant le premier, ils perdent définitivement leur figure dans le second. Je n'hésite pas à croire que, pour le constructeur avisé, pour le conservateur prévoyant de la figure des édifices, la connaissance exacte du moment remarquable qui sépare les deux actes, est ici le repère essentiel, auquel doit se mesurer la sécurité qu'il entend se procurer dans la tenue de ses œuvres. Je dis que c'est au-dessous de la limite d'élasticité des corps qui nous occupent qu'est circonscrit le champ dans lequel doit s'enfermer la préoccupation du constructeur; et qu'en conséquence, il est judicieux de fixer la sécurité par un coefficient dépendant du terme de l'élasticité.

On objecte à cette méthode que la limite d'élasticité est mal définissable; que les expériences mêmes de M. Tresca montrent que, par des épreuves successives, sur un même rail, on peut rehausser cette limite. M. Tresca vous le dit lui-même, vous faites ainsi un corps nouveau, plus cassant que le premier. Si vous l'employez dans sa nouvelle condition, il faudra que le coefficient de sécurité soit une fraction réduite de la nouvelle limite.

On objecte encore que les expériences de M. Wöhler, qui ont utilisé cer-

procédés de destruction, d'efficacités variées, montrent qu'on arrive par des alternatives de charges contraires, à détruire le métal sur des efforts inférieurs à ceux que nous fixons habituellement comme limite d'élasticité. Il est évident que, si ces expériences, très peu nombreuses, se confirmaient, elles indiqueraient que, pour certains cas d'applications très spéciales, il faudrait ou déterminer le point d'abaissement de la limite d'élasticité, ou peut-être établir que, relativement à ces cas particuliers, le métal se conduit comme les corps cassants, c'est-à-dire que la limite d'élasticité est juste au point de rupture.

Ces intéressantes distinctions des modes de destruction que les Allemands inscrivent dans les lettres *t*, *u*, *s*, confirment cette idée que le constructeur ne doit jamais abdiquer sa raison devant une formule ou un coefficient d'usage et qu'il doit toujours tenir compte des circonstances singulières, auxquelles il soumet ses matériaux. Mais elles ne diminuent en rien la méthode que nous avons adopté, en France, de cantonner le travail utile des matériaux *non cassants* en deçà de la limite d'élasticité. Cette méthode est conforme au principe fondamental de la construction. Elle satisfait l'esprit et fournit sécurité complète dès qu'on a bien établi les charges de l'élasticité et bien approprié les coefficients aux circonstances.

M. Brüll. Messieurs, je voudrais conseiller à mon tour, tout en admirant les importantes expériences de Wöhler et les savantes déductions qu'en ont tirées plusieurs ingénieurs allemands, de nous tenir fermes aux règles que nous devrions tous appliquer, qui basent les dimensions à donner aux matériaux sur leur limite d'élasticité.

M. Tresca a annoncé le premier qu'il était possible de déplacer cette limite d'élasticité, et de la reporter plus ou moins près de la limite de rupture.

M. Tresca vient de confesser que cette mobilité de la limite d'élasticité l'avait quelque peu effrayé.

Si d'un côté les auteurs Allemands ont entendu démontrer que la limite de rupture est quelque chose de très variable; si, d'un autre côté, la limite d'élasticité n'est pas stable, on pourrait se demander sur quel terme fixe nous pourrions désormais nous appuyer pour calculer les pièces.

Mais le constructeur emploie les matériaux dans l'état même où les fabricants les livrent, je dirais volontiers, à l'état naturel; il ne les soumet pas, avant l'application, aux traitements spéciaux qui peuvent en changer les propriétés élastiques. Les pièces des machines et des constructions ne subissent pas non plus ces traitements dans leur service normal. On peut donc dire que les métaux employés dans la pratique courante possèdent et conservent la limite d'élasticité qu'un faisceau considérable d'expériences nous a appris à connaître pour les diverses qualités des métaux.

Il semble donc que nous puissions continuer à considérer pratiquement la limite d'élasticité des matériaux comme un terme bien connu et bien stable, et à nous en servir, sans crainte, comme d'une base sûre et fixe pour le calcul des dimensions.

M. Marché a dit que lorsqu'on ne dépassait pas, dans les efforts, soit qu'on les applique dans un seul et même sens, soit qu'ils agissent d'une façon alternative, tantôt par compression, tantôt par extension, la limite d'élasticité, on n'avait rien à craindre. Mais je pense que Wöhler, dans ses expériences, est parvenu bien souvent à rompre des pièces de fer ou d'acier, sans arriver à la limite d'élasticité. Si cela est arrivé ainsi, cela tient au mode d'application de ces efforts.

Lorsqu'on consent à faire subir des millions de flexions à une barre de fer, il n'est pas besoin de dire qu'on cherche à se presser un peu. Wöhler a donc appliqué les efforts non pas avec lenteur, mais au contraire le plus vite qu'il a pu. En fait, la vitesse de rotation dans les expériences de Wöhler a été de 72 tours par minute. Nous sommes donc là en présence d'efforts appliqués non pas brusquement et par choc, mais tout au moins très rapidement.

Des efforts pareils n'ont pas besoin d'atteindre la limite d'élasticité pour déformer la pièce. Si la vitesse d'application, était infinie, la théorie indique qu'il suffirait d'une traction égale à la moitié de la limite d'élasticité pour que cette limite fût atteinte.

Je suppose une barre de fer suspendue, que l'on charge verticalement, et peu à peu; je représente en abcisses les allongements successifs, et en ordonnées les tractions. La surface totale de la courbe donne l'ensemble d'efforts nécessaires pour rompre la pièce. La surface de la courbe jusqu'à un point donné mesure le travail résistant jusqu'à ce point.

Pendant la période élastique, la ligne est d'abord droite et très près de la verticale, puis au delà de la limite d'élasticité, les allongements croissent plus vite que les efforts et la courbe est concave vers le bas; dès que la traction se prononce les allongements deviennent énormes, la courbe s'aplatit et devient presque horizontale jusqu'au point de rupture.

Un auteur allemand, Lippold, a recherché quel effort brusque pourrait produire un certain allongement déterminé de la barre, c'est-à-dire amener le phénomène à un point déterminé de la courbe de résistance statique qui vient d'être tracée.

Si le point est choisi dans la partie droite correspondant à la période élastique, l'effort brusque est forcément la moitié de l'effort statique représenté par l'ordonnée de ce point, car la surface du rectangle qui sert de mesure au travail de la charge et égale à celle du triangle de la résistance.

Mais si l'on prend un point de la partie courbe, la charge nécessaire est plus grande que la moitié de la charge statique, car la surface du triangle qui mesurerait le travail d'une pareille charge ne forme qu'une partie de la surface du triangle curviligne qui représente le travail résistant.

L'effort nécessaire, plus grand que la moitié de l'effort statique, peut cependant être plus petit que la limite d'élasticité. Si on applique cet effort brusque, on produira une déformation permanente; une partie du travail employé restera dans la pièce et l'on peut se rendre compte, en réitérant

cette analyse, que si l'on répète l'application de cet effort sur la tige, dont la limite d'élasticité s'est augmentée, on la déformera encore; il restera encore dans la pièce une partie du travail employé, et ainsi de suite à chaque application. La rupture peut survenir par suite de cette accumulation, si la somme de travail qui reste ainsi dans la tige vient à atteindre le travail de rupture.

On ne peut pas faire travailler les pièces sous un pareil effort un nombre indéfini de fois ; la limite de sécurité serait franchie.

Au-dessous de la moitié de la limite d'élasticité il n'y a aucun danger quelconque; mais au-dessus de la moitié, il peut arriver tel nombre de répétitions qui emmagasinera dans la pièce assez d'efforts pour la faire rompre.

Je disais que je ne conseillerais pas, malgré tout l'intérêt de ces recherches, d'appliquer au calcul des pièces ces moyens compliqués et incertains. Je pense d'ailleurs qu'il n'y a pas de révélation dans les faits signalés par Wöhler. Chacun sait en effet que pour calculer les pièces soumises à des efforts variant de sens et d'intensité, on n'applique jamais un coefficient aussi élevé que dans le cas de forces invariables en grandeur et de direction. Quant à la mesure de ces phénomènes, je crois que M. Marché a démontré qu'elle était loin d'être certaine et définitive.

Nous pouvons donc sans scrupule conserver notre méthode de calcul jusqu'à ce que des expériences prolongées aient fourni, pour les diverses qualités de métaux, la mesure de ces nouveaux coefficients.

M. Marché répond à M. Brüll qu'en affirmant que dans les expériences de Wöhler, la rupture sous des efforts répétés ne s'était jamais produite sous une charge inférieure à la limite d'élasticité, il ne parlait que des essais par courbures et redressements, desquels ont été déduites la valeur de u et la formule de Launhardt.

Il y a en effet des expériences de Wöhler dans lesquelles la rupture a eu lieu sous des efforts de $13^k 50$ pour le fer et de $22^k 50$ pour l'acier Krupp; ce fait n'a pas eu lieu par suite de chocs, mais parce que les pièces ont été soumises alternativement à des efforts de sens contraires, extension et compression. Ce sont ces essais qui ont fourni les valeurs de s qui interviennent dans la formule de Weyrauch.

M. Marché déclare que ces expériences sont à tous points de vue de celles qui doivent appeler le plus sérieusement l'attention des ingénieurs, elles nous révèlent le danger qu'il y a à soumettre des pièces à des efforts alternants de traction et de compression et la nécessité, dans ce cas, de réduire les coefficients de travail.

M. de Comberousse. Je ne veux retenir la Société que quelques instants. J'ai deux points seulement à toucher, qui offrent un certain intérêt.

Le premier point se rapporte à la partie historique de la question.

M. Tresca nous a rappelé tout à l'heure les expériences remarquables qu'il a faites sur un rail, dont il augmentait successivement la limite d'élasticité en se rapprochant de plus en plus de la limite de rupture. Ce rail,

dont il faisait en quelque sorte l'éducation, suivant la piquante expression que je lui emprunte, m'a fait souvenir des travaux antérieurs de notre compatriote Wertheim, exposés dans les mémoires de mécanique physique qu'il a publiés en 1848.

C'est à cette époque que cet habile expérimentateur s'est, pour ainsi dire, fait des ennemis de tous les physiciens en déclarant que, selon lui, *il n'existait pas de vraie limite d'élasticité.*

D'après Wertheim, toute charge produit un allongement permanent, un allongement qui ne disparaît pas après l'enlèvement de la charge. Si l'expérience ne le montre pas, c'est d'abord qu'on n'a pas laissé les premières charges agir pendant un temps assez prolongé et, ensuite, que la longueur de la tige soumise à l'expérience est trop faible pour que l'instrument qui sert aux mesures puisse permettre d'apprécier l'allongement qui s'est réellement produit, eu égard au degré d'exactitude dont cet instrument est susceptible.

Ces indications concordent parfaitement avec les expériences de M. Tresca, et, en outre, expliquent très bien que *la charge naturelle* u *répétée* un nombre suffisant de fois puisse finir par entraîner la rupture.

Si Wertheim a raison, le résultat des expériences de Wöhler ne peut plus surprendre autant. Chaque fois que la charge *u* est remise en place, un certain allongement, une certaine désagrégation de la tige doit se manifester. Il en résulte que, pour une valeur convenable de *u* et pour le nombre voulu de répétitions, cette charge *u* doit pouvoir entraîner la rupture de la tige, tout en restant notablement inférieure à la charge statique *t*.

Le second point sur lequel je veux insister rentre dans les principes généraux admis depuis longtemps en mécanique.

Il s'agit du tableau que M. Seyrig a dressé au commencement de la séance, relativement à la résistance de l'acier.

Notre collègue nous a montré que, lorsqu'on passait, dans les limites convenables, d'une charge inférieure à une charge supérieure, il fallait toujours un nombre considérable de vibrations, c'est-à-dire de répétitions, pour amener la rupture de la tige; mais, que ce nombre de vibrations tendait vers l'infini ou que la rupture devenait impossible, *à mesure que la différence entre les deux charges extrêmes diminuait.* Ainsi, en nombres ronds si je ne me trompe, lorsqu'on saute d'une charge de 1210 kilogrammes à une charge de 7300 kilogrammes, on arrive à rompre la tige après des milliers de vibrations; tandis que, si l'on passe de 4000 kilogrammes à la charge fixe de 7300 kilogrammes, la rupture devient impossible.

Ici, c'est *la loi générale de la continuité mécanique qui apparaît*, et qui se trouve mise d'une manière curieuse en parallèle avec *les effets toujours dangereux causés par les changements brusques*, comme nous le savons depuis longtemps.

De 1210 kilogrammes à 7300 kilogrammes, nous avons 6090 kilogrammes de différence; de 4000 kilogrammes à 7300 kilogrammes nous n'en avons

plus que 3300. L'acier peut supporter la deuxième différence, s'étendre et se contracter dans les limites qu'elle assigne. La première différence est trop forte et use en quelque sorte l'énergie de ressort du métal.

Ce rapprochement m'a semblé utile à présenter à la société.

M. le Président. Ceci est d'accord avec les expériences que j'ai faites il y a vingt-cinq ans; les opérations se faisaient par des charges successives. On commençait par un poids très faible; quand on l'augmentait progressivement de quantités très faibles et égales, on arrivait à des charges de rupture très élevées, et au-dessus des charges de résistance ordinaire Au contraire, quand on commençait l'opération avec une charge moitié de ce qu'il avait fallu pour la rupture, celle-ci se produisait avec un poids moindre que dans le premier cas. La limite d'élasticité semble donc, varier suivant la façon dont on procède pour l'évaluer.

M. Goschler. Au point de vue historique, je ferai remarquer qu'à l'époque où M. Wöhler a publié ses expériences, les Allemands sont arrivés d'emblée à construire leurs essieux sur des diamètres beaucoup plus forts que nous autres en France; et c'est à la suite des empêchements, des difficultés que les wagons français rencontraient aux frontières, pour passer en Allemagne, que nous avons été conduits à augmenter le diamètre de nos essieux, et aujourd'hui il est reconnu en France que les gros essieux ont beaucoup plus de résistance.

M. Tresca. Ce n'est pas ici le lieu de critiquer le raisonnement qu'a rappelé M. Brüll, et dont il importe de laisser toute la responsabilité à son auteur primitif; tout effort étant en quelque sorte lié à une déformation correspondante, on ne saurait rien conclure de précis de la considération d'un effort réduit à la moitié de celui qui correspond à la limite d'élasticité, et je n'en parle ici que pour avoir occasion de citer un fait qui doit nous imposer une grande réserve, en ce qui concerne les déformations qui pourraient être produites par des efforts ainsi limités.

Sans doute, nous n'avons pas fait en France des expériences spéciales, analogues à celles de Wöhler, mais voilà plus de trente ans que les mêmes lames dynamométriques nous servent à des expériences variées dans lesquelles elles fléchissent, dans une suite d'oscillations très rapides et souvent répétées, aussi jusqu'à des millions de fois. M. le général Morin avait soin de régler à un dixième de la longueur de ses lames leur plus grande flèche, ce qui correspond à peu près à leur limite d'élasticité, et cependant rien n'indique que ces lames avaient été détériorées.

En plaçant sous le patronage du Général, dont la société des ingénieurs civils a conservé un si excellent souvenir, cette dernière réflexion, M. Tresca pense qu'il a suffisamment réfuté toutes les objections qui ont pu être faites au choix de la limite d'élasticité, comme base des calculs. Avertis par l'expérience nous aurons soin toutefois de ne pas exercer d'efforts qui pourraient faire varier cette limite au delà de la limite naturelle, constatée sur la même matière, avant la mise en service.

M. Seyrig. Je suis d'accord avec la plupart de ceux qui ont pris part à cette discussion, en accordant à la limite d'élasticité une importance des plus grandes. Il est évident qu'il importe au plus haut degré d'assurer à nos constructions la permanence de la forme, et cela est surtout vrai pour un grand nombre de constructions architecturales ou mécaniques. Il n'en est pas moins vrai qu'il y a un intérêt primordial à assurer la sécurité de nos constructions ainsi que leur durée, et c'est ce que la considération de la limite d'élasticité peut ne pas toujours assurer. Les expériences de Wöhler fournissent la preuve que dans certains cas particuliers, la rupture précède cette limite habituelle. Du fer résistant sous la charge statique à 3,300 kil., rompt sous 1,100 et même 1,000 kil. quand les efforts qu'il subit sont d'une certaine nature. — Ce qui me paraît essentiel à mettre en lumière c'est qu'il est de toute nécessité de considérer pour chaque pièce dont on veut déterminer les dimensions, la nature et la variabilité des efforts qu'elle doit subir. Ces considérations, remarquons-le, sont encore indépendantes de celles qui tiennent compte des chocs ou des vibrations proprement dites, dont les effets sont plus difficiles à préciser. Nos mécaniciens adoptent un coefficient de sécurité plus grand à raison de ces effets du mouvement. Ils pourraient être plus hardis dans certains cas, ils devraient être plus prudents dans d'autres cas, s'ils tenaient compte de la répétition des efforts. Pour la construction de ponts, charpentes, etc., l'importance de ces considérations est plus grande encore, attendu qu'on se borne en général à adopter le coefficient réglementaire de 6 kil. par millimètre carré, sans envisager les résultats des efforts variables ou alternants. Or il est certainement logique d'appliquer à toutes les parties d'une construction un même coefficient de sécurité ou de prudence, ce qui conduira, ainsi que nous l'avons vu, à des évaluations très variables, suivant la position et la fonction de ces parties.

D'autre part il faut remarquer que jamais, ou presque jamais on n'exige du métal à employer dans les constructions, que la limite d'élasticité se trouve à un certain point de la résistance. Les cahiers de charges imposent ordinairement un coefficient minimum de résistance finale, puis un certain allongement qui doit être atteint à cette limite. Mais on spécifie rarement quelque chose au sujet de la limite d'élasticité, supposant probablement qu'elle se trouve toujours vers la moitié de la charge de rupture. Mais M. Tresca a fort justement fait remarquer que cette limite pouvait varier et se reculer jusque tout près de la rupture elle-même. Dans les cas sur lesquels j'ai attiré l'attention plus haut, il est évident qu'elle s'est abaissée, puisque la rupture, la déformation permanente par excellence, se produit vers 1,000 ou 1,100 kilog. Il serait certainement intéressant de s'assurer si elle ne s'est pas abaissée davantage et si elle conserve la même proportion avec le coefficient de rupture que lorsqu'il s'agit de charges statiques.

En résumé il me paraît que les expériences de M. Wöhler doivent nous imposer une plus grande attention dans la détermination des proportions

de nos constructions. Elles ont besoin de confirmation par des essais plus nombreux et plus variés, mais ce qu'elles contribueront certainement à faire disparaître c'est le coefficient uniforme, trop souvent adopté aujourd'hui dans le calcul. La double raison de l'économie d'une part, de la prudence d'autre part conduiront à ce résultat.

M. Marché maintient, en ce qui concerne les efforts répétés agissant dans le même sens, *u* étant égal à la limite d'élasticité, qu'on peut s'en tenir pour le calcul des pièces à les faire travailler au tiers de cette limite d'élasticité. Dans le cas d'alternances, on doit être plus prudent. D'ailleurs quand il y a compression on a toujours tendance à réduire l'effort par millimètre carré et à faire intervenir pour les pièces de pont, les bielles, les tiges de piston, etc., le rapport des dimensions de la section à la longueur. Si donc il est prouvé qu'en cas d'alternances, la résistance du fer peut descendre à 13 kilogrammes; le mieux est de faire travailler les pièces au tiers de 13 kilogrammes au lieu du tiers de la limite d'élasticité.

M. Marché, tout en insistant sur la nécessité de baser le calcul des pièces sur la valeur de la limite d'élasticité, attache la plus grande importance aux phénomènes de déformation permanente dont la limite d'élasticité est l'origine, origine variable avec la nature et la qualité des métaux; l'étude de ces phénomènes permet seule de connaître la qualité du métal et de mesurer les effets des chocs; mais, comme tous les faits constatés pendant la période de déformation permanente, ne se produisent que lorsque la limite d'élasticité est dépassée, et parce que cette limite est dépassée, il se refuse à admettre que les formules déduites de ces faits puissent et doivent servir de base au calcul de charges qui sont nécessairement inférieures à la limite d'élasticité, qui agissent par conséquent sur des pièces élastiques et non sur des pièces déformées, modifiées, altérées dans les conditions mêmes qu'on se propose d'éviter en en fixant les dimensions.

M. le Président. Je crois, Messieurs, que la discussion a été aussi complète que possible; et, en résumé, on peut dire : que, tout en rendant pleine et entière justice aux travaux remarquables des savants expérimentateurs allemands, chacun de nous, ici, reste attaché au principe de la *limite d'élasticité* qui, en France, a servi de base à la théorie et aux formules pratiques de la résistance des matériaux, et qui, suivant l'expression des ingénieurs anglais, caractérise l'École française.

Les membres admis dans la présente séance sont : MM. Bréville, Burot, Caillet, Coignet, Foulhoux, Gouilly, Jambille, Jouffrey, Lebrun, Maniquet, Mays, Vieillard, de Zevallos, comme membres sociétaires, et MM. Cantagrel et Lepaute, comme membres associés.

CHRONIQUE

SOMMAIRE. — Locomotives système Wootten. — Machines Fell et machines à crémaillère. — Un nouveau combustible. — Travail que l'homme peut développer pendant un court espace de temps. — Le système métrique aux États-Unis. — Données d'établissement d'un atelier de construction de machines occupant 1,000 ouvriers. — Combustible employé sur les chemins de fer russes.

Locomotives système Wootten. — Nous donnons ci-dessous le résumé et les chiffres les plus intéressants d'une notice publiée dans le *Journal of the Franklin Institute*, sur la locomotive Wootten, dont un specimen, exposé à Paris, en 1878, excita une certaine attention.

L'auteur, M. J. Snowden Bell, rappelle les premières chaudières pour brûler la houille, de Boardman (1849), Milholland (1852), Ross Winans, etc., dont les grilles et foyers atteignaient déjà de très grandes dimensions. M. J. E. Wootten, chef de l'exploitation du Philadelphia and Reading Railroad, a créé un nouveau type de chaudière pouvant s'adapter à toutes les catégories de locomotives et destiné à brûler les menus qui se produisent en quantité énorme dans l'extraction et la manipulation de l'anthracite; la proportion de ces menus est de 20 à 25 pour 100, et on peut juger de la quantité, si on considère que la production des mines d'anthracite de Pensylvanie a été, l'année dernière, de 23 millions de tonnes. L'anthracite est lavé pour séparer les matières terreuses qui entrent pour 18 à 20 pour 100. Le combustible étant très tenu, et devant être brûlé en couche mince, il faut une très grande grille, de manière que l'appel d'air dû au tirage réparti sur une très grande surface soit faible sur chaque élément, pour ne pas entraîner le combustible pulvérulent.

La chaudière Wootten a un foyer très large qui déborde latéralement sur les roues de la machine, la grille, étant très relevée, exige l'emploi d'un autel en briques séparé de la plaque tubulaire par une chambre de combustion.

La première machine de ce type, n° 408, du Philadelphia and Reading Railroad, fut construite à Reading et mise en service il y a quatre ans. Il y en a actuellement 75 en service sur cette ligne. La machine qui figurait à l'Exposition de 1878 était de ce type. Nous rappelons ici les principales dimensions de cette locomotive à marchandises à dix roues, dont six accouplées et quatre sous l'avant-train mobile.

Diamètre des cylindres	0m,455
Course des pistons	0 ,610
Diamètre des roues accouplées	1 ,366
Diamètre des roues de support	0 ,759
Diamètre du corps cylindrique à la boîte à fumée	1 ,151
Diamètre du corps cylindrique à la boîte à feu	1 ,366
Nombre de tubes	160
Longueur de tubes	3.100
Diamètre extérieur	50,6 m/m
Longueur du foyer intérieur	2,590
Largeur du foyer intérieur	2,300
Longueur de la chambre de combustion	0,784
Surface de la grille	5,95 m²
Surface de chauffe des tubes	79,05
Surface de chauffe de la chambre de combustion	2,42
Surface de chauffe du foyer	9,86
Surface de chauffe totale	91,33
Diamètre de la cheminée	0,418
Ouverture de l'échappement, variable de	0,100 à 0,125
Poids sur les roues accouplées	30,758kg
Poids total	39,026

La machine de l'Exposition fut soumise à quelques essais sur le chemin de fer du Nord, puis envoyée en Italie, où elle fut employée sur les chemins de fer de la haute Italie, avec de l'anthracite et des lignites de différentes provenances. Le rapport fait par MM. Fadda, Codazza et Senesi, ingénieurs du gouvernement, daté du 14 juillet 1879, est très favorable à la machine.

Avec les lignites de Monte-Murlo (Toscane), la vaporisation moyenne fut de 4kg,20 d'eau par kilog. de combustible. Ce lignite donnait un feu doux, une flamme courte, une faible odeur sulfureuse, pas d'étincelles par la cheminée et pas de dépôt de suie dans les tubes et la boîte à fumée.

Cette dernière particularité, qui s'est reproduite avec tous les combustibles, est attribuée à la perfection de la combustion et à la faible vitesse des gaz.

Quant à la manière de conduire le feu, le rapport constate qu'elle n'est pas trop difficile ou fatigante, bien qu'il faille une certaine habitude pour envoyer le combustible à une distance de deux mètres, et charger la grille bien uniformément.

Trois essais avec de l'anthracite ont donné une vaporisation moyenne de 8kg,36.

Ce combustible ne pourrait être employé sur les locomotives des chemins italiens sans des modifications qui les rendraient semblables aux machines Wootten.

Le lignite de Cludunco, près Trévise, bien que presque pulvérulent,

brûle bien, sans étincelles ni suie, et a donné une vaporisation de 8,66, mais il contient beaucoup de soufre.

Le Cardiff en menu a donné une excellente combustion et une vaporisation de 8,90.

Le lignite de San Giovanni (Toscane) ressemblant à du bois, brûle tranquillement, sans étincelles, et donne une bonne vaporisation. Celui de Valdagno a donné d'excellents résultats, il est mélangé avec un peu de gravier et contient une certaine proportion de pyrites.

Le rapport conclut qu'avec des dispositions analogues à celles de la chaudière Wootten, on pourrait employer avantageusement les combustibles italiens dans les locomotives, et affranchir, partiellement au moins, le pays de la dépendance où il se trouve pour le combustible des nations étrangères. Il constate les excellentes qualités de l'anthracite américain, dont l'emploi pourra avoir lieu en Italie si le prix auquel on pourra l'y amener est assez bas et si la dépense de modification des foyers n'est pas trop élevée.

En dehors de la question du combustible et de la vaporisation, la machine américaine a été trouvée très satisfaisante, très stable, même à des vitesses de 40 à 50 kilomètres, malgré la grande hauteur du centre de gravité, se prêtant, grâce au truck, aux irrégularités de la voie et passant, sans difficultés, dans les courbes de petit rayon; elle donne moins de résistance, pour le mécanisme, que les machines italiennes de la quatrième catégorie.

Les premières applications de la chaudière Wootten avaient été faites à des machines à marchandises à roues de 1,366. L'auteur l'a adaptée ensuite à des machines à voyageurs destinées au service des trains rapides entre Philadelphie et Bound-Brook, ayant des cylindres de 0^{m},531 de diamètre, 0,556 de course, et des roues motrices de 1,727, sur lesquelles est le foyer; elles pèsent 44,500 kilogrammes, dont 29,000 sur les quatre roues accouplées.

La grille a une surface de 7,07 mètres carrés; elle est composée de barreaux et de tubes à eau alternés, légèrement inclinés vers l'avant. La boîte à feu extérieure a 2,64 de largeur et 3,175 de longueur. L'autel s'élève à 0^{m},45 au-dessus de la grille. Il y a 184 tubes. La surface de chauffe totale est de 103,9 mètres carrés. Le ciel du foyer est rattaché à l'enveloppe par des entretoises.

Les dispositions générales de la chaudière sont d'ailleurs les mêmes que celles de la machine à marchandises.

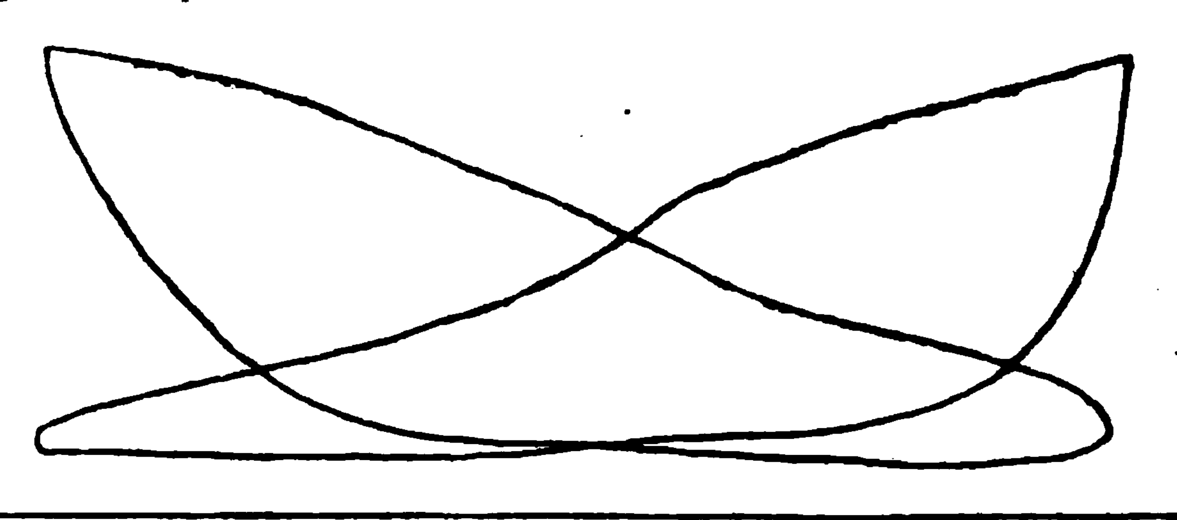
L'alimentation se fait par deux injecteurs Sellers n° 9, dont chacun peut fournir 170 litres par minute. Le tender contient 17,000 litres d'eau et 4,500 kilogrammes de combustible, ce qui permet de faire sans arrêt le trajet de Philadelphie à Jersey-City, 145 kilomètres.

On peut graisser le mécanisme depuis le cab, et il y a des dispositions pour arroser les fusées des essieux en cas d'échauffement.

Voici quelques chiffres relatifs à la puissance de ces machines :

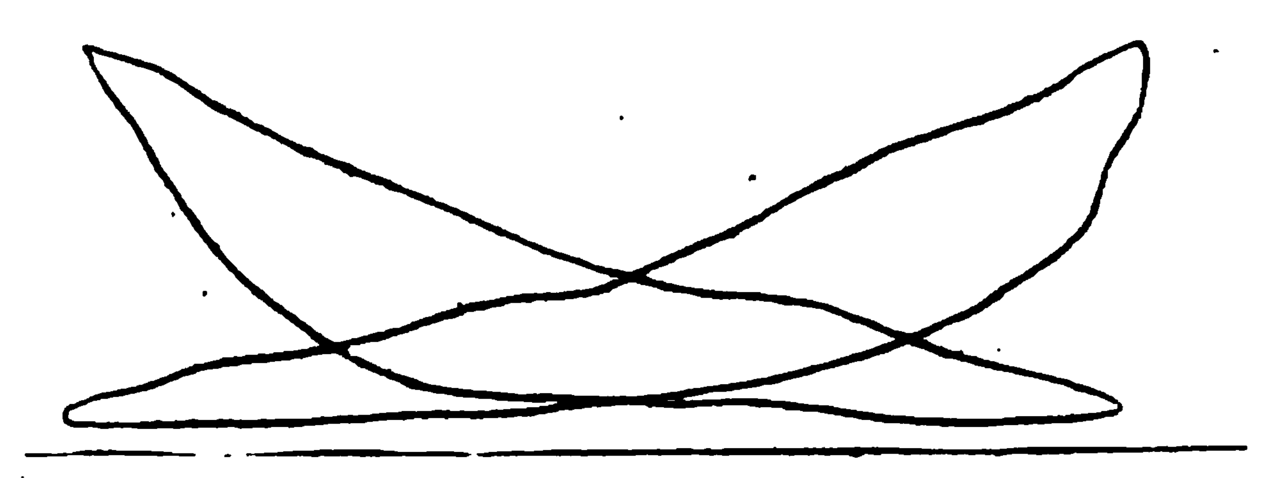
En juin 1880, la machine 506 a remorqué 15 voitures contenant 900 voyageurs, entre Philadelphie et Bound-Brook, parcours comportant des rampes de 11 millièmes à une vitesse moyenne de 68 kilomètres; la charge totale, sans la machine et le tender, dépassait 360 tonnes. La consommation moyenne a été de 17kg,5 par kilomètre, et la combustion a eu lieu a raison de 170 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure.

En juillet 1880, la machine 411 a remorqué 10 voitures chargées sur la même ligne à la vitesse moyenne de 72 kilomètres à l'heure; la consommation était de 15kg,2 par kilomètre et de 160 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure.



Le diagramme d'indicateur ci-dessus, a été relevé sur la machine 411, le 20 décembre 1880, un des jours les plus froids de l'hiver, le thermomètre marquant 18 degrés centigrades au-dessous de zéro.

Le train était composé de quatre voitures à voyageurs chargées. Malgré le vent qui soufflait en face, la vitesse atteinte fut de 116 kilomètres à l'heure; plusieurs kilomètres de suite furent parcourus en moins de trente secondes chacun. L'échelle du diagramme est de 4,5 millimètres environ par kilogramme (80 livres par pouce carré, par pouce de hauteur), il a été relevé à la vitesse de 360 tours par minute, à l'admission de 0,40, la pression à la chaudière étant de 7k,4 [1].



Le second diagramme a été relevé sur la même machine, le 4 mai 1880,

1. Le calcul de ce diagramme nous donne les résultats suivants : pressions moyennes effectives, 2 kil. 785 et 2 kil. 545; moyenne, 2 kil. 665; puissance indiquée à la vitesse observée correspondant à 6 m. 67 de vitesse de piston par seconde 1 063 chevaux, ce qui fait 154 chevaux indiqués par mètre carré de grille et 10,23 par mètre carré de surface de chauffe. La vapeur sensible au cylindre à la fin de la détente représente 11,83 kilogrammes par cheval indiqué et par heure, ce qui fait une dépense totale de 12,575 kilogrammes à l'heure sans compter l'eau restant liquide, et une vaporisation inférieure, à la réalité, de 121 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe et par heure. On remarquera l'énorme proportion de la contre-pression qui est d'au moins une atmosphère. (A. M.)

le train était composé de sept voitures; la vitesse était de 103 kilomètres, l'admission de 0,30 et la pression à la chaudière de $8^k,65$[1].

Ces machines font le service de Bound-Brook à Philadelphie, à raison de quatre voyages par jour, soit un parcours journalier de 386 kilomètres. La vitesse moyenne doit être maintenue à 90 kilomètres à l'heure pendant près de 90 kilomètres; il y a sur ce parcours 16 kilomètres avec rampes de 3 à 6 millièmes, 18 avec rampes de 6 à 8; 2 kilomètres avec rampes de 11; 19 à peu près de niveau et 40 en pente de 1 à 8 millièmes. Les 6,5 kilomètres de Ninth et Green-Street à Wayne-Junction étant dans la ville, sont parcourus à faible vitesse et exigent déjà 11 minutes sur les 64 allouées pour la distance de 88,5 kilomètres de Wayne-Junction à Bound-Brook.

La chaudière Wootten a été également appliquée à 30 machines du type *Consolidation*, servant à faire les trains de charbon sur le Philadelphia and Reading Railroad.

Voici les principales dimensions de ces machines :

Diamètre des cylindres.	$0^m,500$
Course des pistons.	0,610
Diamètre des roues accouplées.	1,265
— — du Bissel.	0,759
Écartement des essieux accouplés.	4,498
— total.	6,963
Longueur intérieure du foyer.	2,895
Largeur — —	2,440
Surface de la grille.	7,076
Diamètre du corps cylindrique.	1,493 à 1,341
Nombre de tubes.	197
Diamètre —	$50,6^{mm}$
Longueur entre plaques.	3,519
Surface de chauffe des tubes.	110,67
— — du foyer.	15,53
— — totale.	126,20
Dimensions des fusées des essieux.	0,177 × 0,202
— des lumières d'admission.	0,405 × 0,0316
— — d'échappement.	0,405 × 0,0632
Poids total de la machine.	46,660 kilog.
— sur les essieux accouplés.	40,770 —

En service courant ce type de machine remorque des trains de 140 wagons à quatre roues formant une charge brute de 1120 tonnes de Palo-

1. En faisant le calcul des diagrammes comme ci-dessus, on trouve une pression moyenne effective de 1 k. 758, ce qui, pour 320 tours à la minute, donne une vitesse de piston de 5 m. 95, un travail indiqué de 628 chevaux, ce qui fait 88,1 par mètre carré de grille et 6 par mètre carré de surface de chauffe totale. La dépense de vapeur sensible est de 12 k. 90 par cheval indiqué, ce qui fait une dépense totale apparente à l'heure de 8,038 kilogrammes ou 77,3 par mètre carré de surface de chauffe. (A. M).

Alto à Port-Richmond, distance 153 kilomètres de niveau ou en pente à la vitesse moyenne de 16 kilomètres. La consommation en menu d'anthracite pour le trajet est de 5,200 kilogrammes, soit 34 kilogr. par kilomètre. Au retour la machine traîne 160 wagons vides, mais la différence de niveau sur la distance de 153 kilomètres est de 190 mètres; la consommation est de 5,440 kilogr., soit : 38,5 kilogr. par kilomètre.

On a fait en septembre 1880 des essais comparatifs entre des machines du même type, ayant l'une la chaudière ordinaire, l'autre la chaudière Wootten, et on a trouvé en faveur de cette dernière un avantage de 25 pour 100 pour le combustible et de 35 pour 100 dans la vaporisation, la chaudière vaporisant de 8,74 à 9.13 d'eau pour 1 de combustible, tandis que la chaudière ordinaire n'a donné que 6,87 et 6,35 d'eau pour 1 du même combustible.

En outre, la chaudière Wootten possède l'avantage de pouvoir être chauffée avec des déchets de charbon qu'on ne pourrait employer pour la chaudière ordinaire, la différence de valeur entre les deux combustibles étant de 10 à 11 francs par tonne; si la consommation journalière est de 4 1/2 tonnes, on voit que l'économie est de 47 fr. 25 par jour. M. J. Snowden Bell, termine en montrant combien sont peu fondées les allégations de certaines publications anglaises, qui représentaient la chaudière Wootten comme applicable seulement à des machines à roues libres (par la difficulté de placer le foyer au-dessus des roues de grand diamètre), traînant de faibles charges ou à des machines à vitesse modérée.

L'article auquel il est fait allusion disait que, ce qu'il y a de plus mauvais dans les locomotives américaines, ce sont les chaudières et que sans de bonnes chaudières on ne peut faire de service à grande vitesse sur un chemin de fer; l'auteur croit que le simple exposé des faits suffit pour montrer la valeur de ces allégations.

Machines Fell et machines à crémaillère. — La discussion qui a suivi la communication de M. Joseph Prime Maxwell, à l'*Institution of Civil Engineers*, sur les chemins de fer du gouvernement de la Nouvelle-Zélande, où a été faite une application du système Fell, n'occupe pas moins de 64 pages des *Minutes of Proceedings* de l'*Institution*.

Nous trouvons dans la discussion par correspondance une intéressante comparaison faite par M. R. Abt, ingénieur de l'Inspectorat technique des chemins de fer suisses, sur les machines Fell et les machines à crémaillère du système Riggenbach.

M. R. Abt compare les conditions de la ligne de Wellington à Woodville, avec celle de deux lignes analogues exploitées, l'une par des machines à adhérence ordinaire, l'autre par des machines à crémaillère.

La première est la ligne de l'Uetliberg[1], la seconde le chemin de fer de Rorschach-Heiden.

1. Mémoire et compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils, 1875, page 209.

Rorschach est une station du chemin de l'Union-Suisse, située sur les bords du lac de Constance à 400 mètres au-dessus du niveau de la mer. Heiden est une ville d'eaux, située à l'altitude de 790 mètres.

Le chemin de fer fait un service de voyageurs et dessert également de riches carrières situées près de la station de Wienachten, à peu près au milieu de la longueur. L'exploitation du chemin de fer a commencé en 1875.

Les trains partent du quai de Rorschach et font un parcours de 1 1/2 kilomètre sur la ligne de l'Union-Suisse : le chemin de fer à crémaillère a 5 kilomètres, la rampe maxima est de 90 millièmes et les courbes ont 180 mètres de rayon; le chemin de fer est à la voie normale, les wagons ordinaires devant charger aux carrières. Les rails pèsent 20 kilogr. et la crémaillère est posée sur les mêmes traverses que les rails.

Il y a trois locomotives à crémaillère construites aux ateliers d'Aarau. A l'origine, la partie de niveau entre le quai de Rorschach et l'origine du chemin à crémaillère était desservie par des locomotives ordinaires, mais pour réduire la dépense on a, en 1878, modifié les machines à crémaillère en faisant commander à volonté par les cylindres une paire de roues de support de façon qu'elles peuvent marcher sur les parties sans crémaillère.

Voici les dimensions principales :

Diamètre des cylindres.	0^m,300
Course des pistons.	0,500
Pression à la chaudière.	10 kil.
Surface de grille.	1,00
Surface de chauffe du foyer.	5,80
— — des tubes.	44,20
— — totale.	50,00
Poids vide.	13,000 kil.
Poids en service.	16,500
Écartement des essieux.	3,00
Diamètre des roues de support.	0,80
Diamètre de la grande roue dentée.	1,040

Il y a sept voitures d'été pesant 107 kilog. par place et deux voitures d'hiver avec chauffage à vapeur pesant 218 kilog. par place. Toutes les voitures sont munies de freins engrenant avec la crémaillère. Il y a en outre 8 wagons à marchandises pesant 4 tonnes et pouvant porter 7 1/2 tonnes; cela suffit parce que le transport des pierres se fait principalement par les wagons des compagnies étrangères.

La dépense d'établissement a été très élevée; elle a atteint 280,000 fr. par kilomètre.

Les machines peuvent remorquer derrière elles une charge de 40 tonnes à la vitesse moyenne de 8 à 10 kilomètres à l'heure à la montée, et 10 à 12 à la descente. La consommation de combustible est de 15 kilog. environ

par kilomètre; la dépense totale de 3 fr. 25 par kilomètre, dont 1 fr. 60 pour les frais de traction.

Si on fait la comparaison des charges traînées par rapport aux poids des machines pour les trois lignes de Wellington-Woodville, de l'Uetliberg et de Rorschach-Heiden, on trouve les chiffres ci-après :

LIGNES.	CHARGE TRAINÉE derrière la machine sur une rampe de 66 millièmes.	POIDS de la machine.	CHARGE TRAINÉE par tonne de machine.
Wellington-Woodville (système Fell).	64t	36t	1.8t
Uetliberg (adhérence).	26	23.5	1.1
Rorschach-Heiden (crémaillère).	58	15.5	3.7

A l'Uetliberg, la vitesse est beaucoup plus grande que sur les deux autres lignes : elle atteint 16 kilomètres; mais la sécurité est certainement moins complète qu'avec le rail central ou la crémaillère.

Le tableau ci-dessus montre la supériorité de la machine à crémaillère au point de vue de l'utilisation de la machine, puisque une machine de 15 1/2 tonnes traîne presque autant qu'une machine Fell de 36 tonnes. L'expérience acquise permettrait de construire actuellement des machines à crémaillère pesant 16 tonnes, qui traîneraient derrière elles, sur une rampe de 66 millièmes, une charge de 70 à 75 tonnes, soit 4 1/2 fois leur poids à la vitesse de 8 kilomètres à l'heure.

En dehors de la crémaillère, la voie est établie absolument comme la voie ordinaire.

La crémaillère complète peut coûter, y compris la pose, 29 francs par mètre courant; c'est probablement un peu plus cher que la voie Fell, mais la sécurité est plus grande, surtout par la neige. Les machines mixtes à crémaillère, construites récemment, peuvent fonctionner sur la crémaillère ou par adhérence; elles ont donc la même indépendance que les machines Fell et l'emportent de beaucoup sur celles-ci par la simplicité et le bon fonctionnement. Des crémaillères en service depuis dix ans n'ont pas montré la plus légère trace d'usure; le graissage de la crémaillère est une dépense insignifiante : elle ne dépasse pas 3 fr. 50 par kilomètre de ligne et par an. La dépense la plus considérable est celle de l'engrenage principal; celui-ci coûte 1,000 francs et peut faire 50,000 kilomètres; les engrenages de transmission coûtent 2,000 francs et font 80,000 kilomètres.

Notre collègue et ancien président, M. A. Gottschalk, a fait par écrit la même observation que M. Abt relativement à la supériorité d'utilisation de la

machine à crémaillère qui, sur la rampe de 66 millièmes, traînerait à poids égal une charge double de celle que traîne la machine Fell. La crémaillère est plus chère d'établissement que le rail central; mais ce désavantage est compensé par la simplicité de la machine, la puissance des freins et la sécurité absolue.

Il a été répondu dans la discussion[1] que le système à crémaillère ne pouvait être employé, parce qu'avec ce système la voie devait être solidement accrochée au sol par des blocs de maçonnerie de distance en distance, ce qui n'aurait pas été admissible avec une voie établie tantôt en tranchée et tantôt en remblais. Il y a là une confusion; ce mode de construction a été employé au Rigi, où l'inclinaison est de 250 millièmes; mais il est inutile sur des rampes modérées; on ne voit pas d'ailleurs, à effort de traction égale, pourquoi l'ensemble de la voie devrait être fixé plus solidement avec la crémaillère qu'avec le rail central; l'avantage serait, au contraire, en faveur de la crémaillère, puisque, à charge remorquée égale, le poids total et, par conséquent, l'effort de traction total serait moindre.

Un nouveau combustible. — Pendant que nous épuisons nos houillères, certains districts des États-Unis fabriquent du combustible. On lit, en effet, dans le *British Mail*, que dans le Far West il en coûte moins pour faire pousser des grains que pour y amener du charbon. On peut cultiver un hectare en maïs indien pour 75 francs et obtenir 45 hectolitres, qui représentent l'équivalent de 3,750 kilogrammes de charbon; l'équivalent de la tonne de charbon serait donc de 20 francs.

En attendant que l'établissement des voies de communication vienne faciliter les échanges, on peut dire que l'emploi des céréales comme combustible peut être économique dans ces conditions.

Il y a là une application intéressante de la chaleur solaire, et il est permis de se demander si, dans certaines régions, il ne serait pas plus avantageux d'utiliser cette chaleur à produire des végétaux à croissance rapide devant servir de combustible, qu'à l'employer directement dans des appareils solaires coûteux et surtout encombrants.

Travail que l'homme peut développer pendant un court espace de temps. — Nous trouvons dans les extraits de travaux étrangers publiés par l'*Institution of Civil Engineers* quelques résultats d'expériences extraits du journal allemand *Civilingenieur* sur le travail que l'homme peut développer pendant un court espace de temps.

Au congrès de pompiers tenu à Dresde en juin 1880, on a fait des expériences au dynanomètre sur le travail nécessaire pour manœuvrer les différentes pompes à incendie. Les machines étaient en plein air et en plein

1. M. Desbrières a également dit dans la séance du 17 juin 1881 de la Société des Ingénieurs civils, page 219 du procès-verbal : « Il n'y avait pas à songer à la crémaillère Riggenbach. » Mais il n'a pas indiqué pour quelle raison.

soleil; elles étaient manœuvrées par des soldats d'infanterie, chacune pendant deux minutes consécutives. Voici quelques chiffres relatifs à ces essais :

NUMÉRO DE L'ESSAI.	1	8	9	11	17	MOYENNE de 17 EXPÉRIENCES.
Hauteur moyenne du balancier au-dessus du sol..........	1m.00	0.98	0.97	1.25	0.97	»
Longueur du balancier...........	1.25	1.18	1.10	1.78	1.48	»
Course du balancier............	0.98	0.88	0.91	1.15	0.95	»
Nombre de coups doubles par minute...	48	55	49	55	60	»
Vitesse moyenne par seconde.........	0.13	0.13	0.12	0.17	0.16	0.145
Travail en kilogrammètres par homme.	24.5	17.0	30.2	23.0	29.6	22.3

Morin et Weisbach donnent 5,5 kilogrammètres comme le travail moyen qu'un homme peut développer pendant une durée de huit heures. On voit que le travail réalisable pendant un temps très court est quatre fois ce chiffre.

Le système métrique aux États-Unis. — L'introduction du système métrique aux États-Unis est combattue avec un véritable acharnement, si nous en croyons une note de *l'Engineering News*.

M. Collman Sellers avait, dans une communication à l'Institut de Franklin, développé les considérations, qui lui faisaient regarder l'introduction des mesures métriques dans les ateliers de construction, comme désastreuse pour ceux-ci.

Dans la réunion à Montréal de l'*American Society of Civil Engineers*, le 16 juin dernier, M. Latimer a rappelé que, dans une session annuelle précédente tenue à la Nouvelle-Orléans, la Société avait décidé que les membres qui présenteraient des mémoires, seraient priés de donner les mesures simultanément dans le système métrique et dans le système anglais.

Cette prescription n'ayant jamais été observée que dans deux cas, M. Latimer demande à la réunion de l'abroger.

Le même membre a fait une communication sur les poids et mesures, dans laquelle il a rappelé que le pouce anglais est *le plus ancien et le plus précieux legs qui nous ait été fait par nos ancêtres*, c'est le grand adversaire du système métrique; il ne disparaîtra jamais; d'ailleurs en fait, il est maintenant employé à Paris, en France (*in fact, it was now used in Paris, France*). (?)

Les mesures Anglo-Saxonnes prendront le dessus, car elles sont fondées sur le roc.

L'auteur a prouvé, dit-il, par une démonstration mathématique, que le pouce anglais avait été employé dans la construction de la grande pyramide d'Égypte, il y a plus de 4,000 ans. Il espère que quand la race Anglo-Saxonne saura que ses mesures remontent à une aussi haute antiquité, elle ne se montrera pas disposée à y renoncer. Il admet bien cependant qu'il y a une petite différence entre le pouce anglais actuel et le pouce des pyramides, mais elle ne dépasse pas un millième.

M. Brook, de Boston, partisan du système métrique, a répondu brièvement à M. Latimer, mais on ne nous donne pas ses arguments.

Données d'établissement d'un atelier de construction de machines pour 1,000 ouvriers. — Le journal allemand, *le Civil-ingénieur*, extrait le tableau ci-dessous, d'un important ouvrage publié par M. J. Thime, à Saint-Pétersbourg, sur l'organisation des ateliers de construction de machines, tableau résumant les données d'établissement d'un atelier pouvant occuper 1,000 ouvriers.

1.	Nombre d'ouvriers		1,000
2.	Valeur de la production annuelle		4,800,000 fr.
3.	Poids de machines produites		5,000,000 kil.
4.	Montant annuel des salaires		910,000 fr.
5.	Poids des matières brutes consommées.	fonte. . . 4,860,000 fer et acier. 980,000 cuivre et bronze. 60,000	5,900,000 kil.
6.	Charbon et coke		8,200,000 kil.
7.	Nombre d'étaux		200 à 250
8.	— d'établis de menuisiers		40 à 50
9.	— de cubilots		3 à 4
10.	— de fours à réverbère		1 à 2
11.	— de fours à creusets		5
12.	— feux de forge		75
13.	— marteaux pilons		5 à 10
14.	— meules à aiguiser		20 à 25
15.	— machines à travailler le bois		10
16.	Machines pour le travail des métaux.		

Savoir :

Tours	120
Machines à percer	48
— à raboter	30
— à tarauder	8
— à fileter	8
— à tailler les engrenages	2
A reporter	216

Report.	216
Cisailles et poinçonneuses.	4
Machines à cintrer.	2
— à river.	3
Total.	225

17. Superficie couverte.	18,500 m. c.
18. — découverte.	37,160
19. — totale.	55,710
20. Dépense des constructions.	1,165,000 fr.
21. — de l'outillage.	3,645,000
22. — totale (terrain compris).	5,467,000
23. Fonds de roulement.	1,875,000
24. Capital nécessaire.	7,342,000
25. Bénéfice net.	810,000

Combustible employé sur les chemins de fer russes. — Un rapport officiel tout récent donne d'intéressants renseignements sur le combustible consommé en 1879, sur les chemins de fer Russes. Il a été brûlé durant cette année (en dehors du combustible dépensé par les machines fixes), 1,019,720 tonnes de combustible minéral, et 95,500^{m3} de bois. Sur le combustible minéral 82 pour 100 était de provenanee russe, et les 18 pour 100 restant proviennent en majeure partie d'Angleterre ou de Silésie. Le charbon russe se répartit comme suit entre les diverses sources de productions :

Donetz.	436,605 tonnes.
Moscou.	157,477 —
Pologne.	122,544 —
Couban.	6,924 —
Oural.	33 —
Total.	723,583 tonnes.

Il a été importé 216,678 tonnes de charbon d'Angleterre, et 74,770 de Silésie. On n'a pas tenu compte dans le rapport de quelques quantités insignifiantes provenant des centres secondaires de Russie ou de pays étrangers. Si on divise les chemins de fer Russes suivant le combustible qu'ils ont consommé en 1879, on trouve 9,280 kilomètres brûlant de la houille seule, 5,840 brûlant de la houille et du bois, et enfin 6,900 brûlant du bois seul. Les statistiques font voir que l'huile minérale tend à remplacer rapidement le bois comme combustible; le Gouvernement se montre d'ailleurs très favorable à cette substitution. (*Engineering*).

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

MAI 1881.

Rapport de M. Vincent sur une communication de la **Société française du Celluloïd.**

Le celluloïd est un produit complexe formé par le mélange de cellulose nitrique et de camphre. C'est une matière dure, élastique, transparente, susceptible de prendre un beau poli. Sa densité est de 1.35. On peut, par addition de matières pulvérulentes diversement colorées, le rendre opaque et lui donner l'aspect de l'ivoire, de l'ébène, du corail, etc.

Le celluloïd a été obtenu en 1869 par MM. Hyatt, de New-Jersey. Il est fabriqué depuis quelques années à Stains, près Paris, dans l'usine de la Compagnie française du Celluloïd.

Cette substance se ramollit vers 80 degrés et peut se mouler; elle commence à se décomposer lentement vers 130 degrés et très vivement à des températures supérieures; elle peut même détonner à partir de 130 ou 140 degrés. On doit donc la conserver à l'abri de toute élévation notable de température et ne l'emmagasiner qu'en quantité limitée.

La préparation du celluloïd est longue et exige beaucoup de soin. Elle comprend :

1° La fabrication de la cellulose nitrique ou pyroxiline;

2° La mise en plaque du mélange et son laminage;

3° La compression et le chauffage du produit laminé pour former les blocs;

4° Le découpage de ces blocs en feuilles d'épaisseur variable suivant la destination;

5° L'étuvage des produits.

La pyroxiline est obtenue au moyen du papier à cigarette de très bonne qualité, en rouleaux de $0^{m},34$ de largeur et du poids de 15 à 25 kilogrammes, qu'on déroule mécaniquement et qu'on immerge dans un mélange de 5 d'acide sulfurique à 66 degrés et 2 d'acide azotique à 42° B, maintenu à la température de 35 degrés. L'immersion dure douze à quinze minutes. On lave, puis on triture, de manière à obtenir une pâte qu'on blanchit au permanganate de potasse. On élimine l'excès de permanganate par

un lavage; on traite par l'acide sulfureux pour dissoudre l'oxyde de manganèse et on termine par des lavages à grande eau.

C'est cette matière qui, mélangée au camphre et aux matières colorantes, s'il y a lieu, est broyée, moulée à la presse hydraulique, séchée, puis concassée, laminée entre des cylindres chauffés à 50 degrés; les feuilles sont de 12 millimètres d'épaisseur, sont superposées et moulées en blocs à la presse hydraulique, chauffée également. La matière, devenue très homogène, est redébitée en feuilles d'épaisseur variable, suivant les usages, qui sont placées dans une étuve ventilée, chauffée à 65 degrés et y séjournent de huit jours à trois mois, suivant leur épaisseur et leur nature.

Le celluloïd est employé à la confection des planches d'imprimerie pour le clichage, dans l'ébénisterie pour faire des panneaux décoratifs; mais sa plus grande application est à la tabletterie et à l'article de Paris.

Additionné à de l'huile grasse, il peut servir à faire des objets de lingerie imitant la toile et qui sont d'un lavage facile. Il peut aussi, à l'état souple, servir à imiter le cuir pour les objets de sellerie. On l'a également employé pour remplacer la corne dans les rapporteurs; il n'a pas l'inconvénient de la corne qui, en passant de l'air sec à l'air humide, s'allonge de quantités notables et inégalement dans la longueur et la largeur, ce qui entraîne sur le tracé des angles des erreurs qui peuvent atteindre 1/2 degré.

Rapport de M. LEGENTIL sur une brochure de M. H. LEFÈVRE sur l'**enseignement commercial en France**.

Rapport de M. SCHUTZENBERGER sur le **moyen proposé par M. Maistrasse pour déceler l'impureté de l'étain des étamages**.

Ce procédé est fondé sur les différences d'aspects qu'offrent les moirés obtenus sur diverses surfaces métalliques, suivant la plus ou moins grande pureté de l'étain.

L'aspect du moiré obtenu par un lavage à l'acide chlorhydrique étendu, pur ou mélangé d'acide nitrique, commence à prendre un aspect nettement distinct de celui que donne l'étain pur lorsque la dose de plomb dépasse 5 pour 100.

Machines à percer et à tarauder sur place les trous d'entretoises des foyers de locomotives, par M. FERDINAND MATHIAS. — Ces machines remplacent, dans les ateliers du chemin de fer du Nord, à Fives-Lille, un travail manuel long et pénible par une opération mécanique très rapide. Elles sont mises en mouvement par une corde sans fin d'une longueur indéterminée. L'emploi de la corde sans fin peut s'appliquer à beaucoup d'opérations dans le montage et la réparation des machines locomotives; la corde a 15 millimètres de diamètre; la longueur varie de 5 à 100 mètres. Les attaches se font avec des crochets. La tension est donnée par un poids, et la corde est contenue et dirigée sur son parcours par des *galopins*, poulies à chappe équilibrées mobiles en tout sens.

La note donne des tableaux de comparaison entre les temps et les prix de perçage à la main et à la machine; de même pour le taraudage des entretoises; ce dernier travail coûte, pour 100 entretoises à la main, 7 fr. 60 et 15 heures, et à la machine 4 fr. 70 et 10 heures.

En additionnant le perçage des trous et le taraudage, on trouve une différence de 57 heures et 29 fr. 75, soit 48 pour 100 en faveur de la machine à corde.

Notice biographique sur M. Kuhlmann, de Lille, par M. J. Girardin, de Rouen.

Note sur le Musée de Marine au Louvre.

Conférence internationale pour la protection de la propriété industrielle.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

JUIN 1881.

Du flot de fond dans les liquides en état d'ondulation, par M. P.-A. Cornaglia, ancien élève de l'École des ponts et chaussées.

Les conclusions de ce mémoire, qui ne comprend pas moins de 110 pages, sont que :

Le mouvement des ondes dans les liquides engendre le long du fond un flot avec mouvement alternatif, tantôt dirigé suivant le chemin des ondes, et tantôt dans le sens inverse.

Dès que la course qui les a produites a cessé, les ondes diminuent de hauteur en avançant; cependant, elles ne diminuent jamais beaucoup tant que le fond ne change pas brusquement de direction et qu'il existe des profondeurs suffisantes pour qu'elles puissent se développer.

L'intensité du flot de fond est d'autant plus grande que l'agitation provient de plus loin et d'un point où la profondeur est plus grande. L'énergie du flot de fond peut être grande même à de grandes profondeurs.

Les points où, pour une cause quelconque, les flots montants et les flots descendants se contre-balancent exactement, suivant la ligne de plus grande pente, constituent sur le fond une ligne neutre qui occupe différentes positions, suivant la diversité des ondes, des lieux et leurs conditions.

Les corps sur la ligne neutre peuvent marcher le long de cette ligne,

sans monter ni descendre, en se maintenant sur le fond. Du côté de la rive, par rapport à la ligne neutre, les corps se trouvent jetés à la côte; du côté du large, au contraire, ils sont entraînés vers les abîmes. Les corps d'un poids spécifique de très peu supérieur à celui du liquide sont presque partout rejetés à la rive.

Les flots agissent sur les corps placés sur le fond comme à coup de bélier.

Le chemin que les corps parcourent est en forme de dents de scie.

Les corps résistent d'autant mieux au choc des flots que leurs dimensions sont plus grandes, que leur poids spécifique est plus fort, et qu'ils sont mieux disposés, de manière à être attaqués par la pointe.

Les dimensions surtout ont de l'importance pour la stabilité des corps, soit à cause de la moindre surface battue, par rapport à leur volume, soit parce que les corps tendent à se lever du champ d'action du flot rasant le fond.

L'auteur combat la théorie du colonel Emy, qui explique le flot de fond par l'hypothèse d'un ressaut, explication que les faits viennent contredire.

Considérations sur les **Dunes du Sahara**, leur régime, possibilité de les traverser en voie ferrée, par M. Clavenad, ingénieur des ponts et chaussées.

L'auteur examine la question des dunes et de leur formation en citant l'opinion des explorateurs qui les ont observées, tels que : M. Vatonne, M. Duveyrier, le général de Colomb, René Caillé, le général Colonieu, M. G. Ville, etc.

Il étudie le mouvement des sables des dunes, les conditions de leur équilibre dynamique et la possibilité de les traverser. Pour cette dernière question, la règle absolue doit être de troubler le moins possible l'état des choses établies.

Pour les dunes peu élevées ($0^m,50$ à $1^m,50$), on pourra établir la voie sans précautions spéciales sur un remblai peu saillant ou même à fleur du sol, bien qu'une faible tranchée ne soit pas à redouter.

La traversée des dunes moyennes (2 mètres à 6 mètres) nécessitera un mode d'établissement de la voie qui laisse, autant que possible, au phénomème son cours naturel. La voie sera établie sur des supports réunis par des voûtes ou des poutres entre lesquels la circulation pourra se faire Les fondations ne présenteront pas de difficultés particulières, et la dépense sera probablement moindre que celle des parasables. On devra éviter, autant que possible, les tranchées, et, en cas de nécessité, leur substituer des tunnels.

Enfin, pour les hautes dunes, il sera nécessaire de les traverser en parasables ou même en tunnels, dont les têtes seront protégées par des travaux de fixation.

Il sera bon d'employer des travaux de protection tels que la fixation des

dunes, ce qui peut se faire par une enceinte en clayonnage ou en charpente ou même certains semis. On pourra faciliter l'exécution des déblais en utilisant l'action du vent, dirigée par des piquets formant des centres de remous ou tourbillons qui activeraient singulièrement les corrosions, absolument comme cela a lieu dans les vases ou sables à la surface desquels circule de l'eau.

Résultats d'exploitation des tramways, pendant le premier semestre de 1880.

COMPTES RENDUS MENSUELS DES RÉUNIONS DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE, 7 MAI 1881.

Communication de M. BRUNET, sur **l'Emploi de la dynamite pour la destruction des ponts**. — D'une manière générale, le poids de dynamite à employer pour chaque trou de mine est donné par la formule :

$$P = c\,l^3;$$

P étant la charge en grammes;
c un coefficient à déterminer par expérience pour chaque nature de matériaux;
l la ligne de moindre résistance.

L'effet produit par un coup de mine étant mesuré par le volume du rocher ébranlé, la charge doit être proportionnelle à ce volume, c'est-à-dire au cube de l'une des dimensions.

L'emploi de la dynamite peut avoir lieu pour les piles ou pour les poutres métalliques.

Pour les premières, on desagrège assise par assise au moyen, par exemple, de cinq trous de mines de $1^m,30$ de profondeur, chargés chacun de $0^k,500$, on ébranle ainsi simplement la maçonnerie qu'on peut enlever à bras si, comme à Donchery, près Sedan, on doit utiliser les matériaux. On peut comme à Pensagnol, près Toulouse, percer dans chaque pile 18 trous espacés de $1^m,50$ et disposés en quinconce, la profondeur de ces trous étant de $1^m,20$, et les trous étant chargés de $0^k,330$ pour ceux du bord, et de $0^k,500$ pour ceux du milieu. Le tirage simultané brisa complètement la pile sur $1^m,50$ de profondeur.

Pour les parties métalliques on applique sur une tôle d'une épaisseur donnée, une cartouche de dynamite, ayant un diamètre égal à l'épaisseur

de la tôle, et on recouvre d'argile la cartouche faite dans un petit tube en zinc d'une longueur quelconque, l'explosion coupe la tôle exactement suivant la ligne plus ou moins sinueuse affectée par la cartouche.

Dans ce cas, le poids de dynamite est donné par la formule :

$$g = x^2;$$

g étant la charge en grammes;
x l'épaisseur de la tôle en centimètres.

Cette formule est vraie jusqu'à $x = 10$ pour des tôles superposées : elle n'a pas été vérifiée au delà. Pour des épaisseurs massives, elle varierait probablement. Lorsque la rupture doit avoir lieu sous l'eau, il n'est pas possible de recouvrir les cartouches d'une couche d'argile, alors on doit augmenter la charge de dynamite.

Au pont de Miramont, sur la Garonne, les poutres étaient tombées pendant le montage, et comme elles formaient un barrage il fallait absolument les enlever. On coupa d'abord toutes les âmes avec des cartouches en zinc de 25 millimètres de diamètre et 1, 2, 3 et même 4 mètres de longueur. On leur donnait préalablement la courbure de la tôle avant de les immerger ; on les descendait suspendues à des fils de fer; la force du courant les appliquait suffisamment le long des âmes et l'explosion déterminée par l'étincelle électrique, produisait la rupture exactement suivant la ligne affectée par la cartouche.

Il faut avoir soin de disposer les cartouches sur le côté convenable de la tôle à couper, pour que l'action de la dynamite ait toujours lieu de haut en bas; on évite ainsi les projections de morceaux de tôle.

Communication de M. Laporte, sur un **Lavoir à charbon rotatif**, système Laporte et Jourjon. — Le principe de cet appareil consiste dans une cuve circulaire pleine d'eau et munie à son centre d'un arbre vertical armé de palettes, dont la rotation communique à l'eau un mouvement giratoire plus ou moins rapide ; si on fait arriver à un point de la circonférence, sous l'eau, du charbon brut, la séparation entre les schistes et le charbon s'opérera de la façon suivante : au centre, autour de l'arbre se masse le charbon très pur; à la circonférence se répartissent les pierres proprement dites; et sur le fond de la cuve, entre le centre et la circonférence, se trouvent des *crus* d'autant plus chargés de cendres qu'ils sont plus près de la circonférence.

Si maintenant, par des ouvertures convenablement placées dans le fond de la cuve, on fait tomber les matières provenant du classement opéré par le mouvement giratoire, on pourra recueillir d'une façon continue, au centre le charbon le plus pur, à la circonférence les pierres, on peut recueillir les *crus* par une ouverture intermédiaire. Des chaînes à godets prennent au-dessous des orifices d'évacuation le charbon et les schistes. Des essais avec ce lavoir vont être fait par la Société des houillères de Saint-Étienne.

Sur l'emploi des bouchons fusibles dans les chaudières à vapeur. — Communication de M. Wickersheimer, présentée par M. Brustlein.

L'auteur rappelle que le bouchon fusible appliqué à toutes les locomotives, mais rarement aux machines fixes a pour objet de fondre, lorsque le niveau d'eau vient à le découvrir, et un mélange d'eau et de vapeur s'introduit avec force dans le foyer et éteint le feu. Cet appareil a le double but : 1° de mettre en évidence la négligence du chauffeur, et 2° d'empêcher les coups de feu sur le ciel du foyer.

Le plomb se trouve généralement coulé dans une pièce de laiton, composée d'une grosse tête hexagonale manœuvrée à l'aide d'une clé (modèle du Midi), d'une vis qui pénètre dans le ciel du foyer, taraudé et enfin d'un bout tronconique, qui pénètre dans l'eau. Il arrive très souvent que le bout de la pièce se trouve recouvert d'une couche de tartre, qui forme avec le plomb ou l'oxyde de plomb une combinaison plus ou moins définie, mais en tout cas, conduisant mal la chaleur et par conséquent capable de reculer la fusion de la partie du plomb qui l'avoisine. La précaution prise par l'emploi du bouchon fusible se trouve en partie déjouée, et l'appareil est loin d'être d'un emploi sûr.

Un mécanicien de Béziers, M. Pierre, a eu l'idée de rendre le bouchon mobile; celui-ci consiste en un tronc de cône en plomb d'une hauteur un peu plus grande que l'épaisseur du ciel du foyer. Il se trouve rattaché par une goupille en laiton à une tringle verticale de même métal, qui passe à l'extrémité de l'enveloppe de la chaudière; à quelques millimètres au-dessus du bouchon se trouve un second bouchon en cuivre, qui sert à boucher le trou du foyer, après que le premier a fondu et a servi à protéger le ciel du foyer. L'appareil est d'un maniement facile et on peut à froid vérifier facilement l'état du bouchon fusible, ce qui est impossible avec la disposition ordinaire.

C'est, en somme, un appareil de sûreté d'un effet certain et en même temps un appareil de contrôle d'un maniement rapide et facile. Il empêche les détresses en marche, et, en préservant les ciels de foyer des coups de feu, il est de nature à procurer une économie considérable sur les réparations. Cet appareil est applicable à toutes les chaudières, sauf de légères modifications nécessitées par les dispositions du foyer ou des tubes, ou par diverses autres raisons.

Il a été employé jusqu'ici dans quelques usines de Béziers et de Narbonne où il donne toute satisfaction. L'auteur de la communication est d'avis qu'il serait à désirer de voir l'application s'en faire à toutes les machines locomotives.

La question seule de sécurité devrait suffire à écarter toute hésitation à ce sujet.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

6e *livraison de* 1881.

Sur un nouveau frein dynanométrique, par M. E. Brauer, ingénieur et professeur à l'École royale technique supérieure de Berlin.

Réglage des distributions par tiroirs, par M. J.-F. Stein, ingénieur, à Berlin (*suite*).

Dépression de la surface dans les sources, par M. Oscar Smreker, à Prague (*suite*).

Résultats d'expérience d'un procédé pour diminuer les inconvénients des fumées d'usines :

1° Du directeur général R. Hasenclever, à Aix-la-Chapelle (*suite*).

2° Du directeur E. Landsberg, à Aix-la-Chapelle.

Sur la turbine Girard. Réponse du professeur C. Fink, de Berlin.

Sur la turbine Girard. Réponse de M. J.-C. Bernhard Lehmann, d'Erfurt, aux observations du professeur Fink.

L'industrie minérale de la Silésie et l'Exposition de Breslau.

Calcul du poids et des dimensions des ponts à poutres droites.

Le pont du Douro à Oporto.

Appareil fumivore de A.-C. Engert.

Chauffage de l'hospice des Aliénés de Saargemund.

Projet d'un chauffage à vapeur général, à Kaiserslautern.

Le gaz et l'électricité, comme moyens de chauffage, par le docteur W. Siemens.

Chauffage à air pour les écoles.

Chauffage et ventilation du nouvel Opéra de Francfort-sur-le-Mein.

Nouveaux procédés de ventilation et de chauffage de Herscher.

Appareils de ventilation de T.-H. Thompson.

Perfectionnements dans les installations mécaniques des aciéries Bessemer.

Surfaces de moindre résistance et de plus grande poussée.

Formes des lignes d'eau des navires.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. Mallet.

PARIS. — IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

AOUT 1881

N° 8

Pendant le mois d'août les questions suivantes ont été traitées :

1° *Décès de M. Piquet.* (Séance du 5 août, page 134.)

2° *Exposition de l'électricité.* (Séance du 5 août, page 135.)

3° *Viaducs du Douro et de Garabit.* Communication de M. Bodin. (Séance du 5 août, page 135.)

4° *Chemin de fer d'Arzew à Saïda,* prolongement stratégique vers Géryville et Tyout, par M. Fousset. (Séance du 5 août, page 147.)

Pendant le mois d'août, la Société a reçu :

De M. Thirion, membre de la Société, un exemplaire du volume V des *Comptes rendus sténographiques des congrès et conférences de l'Exposition universelle de* 1878.

De M. Madamet, ingénieur de la marine, un exemplaire de son ouvrage *La résistance des matériaux.*

De M. F. Laur, ingénieur civil des mines, un exemplaire de sa note *Géologie et hydrologie de la plaine du Forez.*

De M. Thomas (Léon), membre de la Société, un exemplaire du mé-

moire de M. Verstraet sur le *Canal maritime de l'Océan à la Méditerranée.*

De M. Deniel, membre de la Société, un exemplaire de la notice de M. Devillaine, ingénieur civil des mines sur *Le bassin houiller de la Vendée et ses voies de communication.*

De M. Armengaud aîné, membre de la Société, un exemplaire de son *Manuel de l'éclairage électrique.*

De M. S. Jordan, membre de la Société, un exemplaire de sa conférence sur les *Progrès récents de la métallurgie du fer.*

De M. Jacqmin (Albert), membre de la Société, un exemplaire de sa conférence sur les *Caisses de retraites dans les administrations de chemins de fer.*

De M. Évrard (Maximilien), membre de la Société, un exemplaire de son *Instance contre la Compagnie houillère de Bessèges sur les lavoirs à charbon.*

De M. Blanc (Eugène), membre de la Société, un exemplaire d'un mémoire sur les *Canaux d'irrigation de la Dordogne.*

De M. Évrard (Alfred), membre de la Société, un exemplaire de l'atlas, tome II, de son *Traité pratique de l'exploitation des mines.*

Les Membres nouvellement admis sont :

MM.	Blanc,	présenté par MM.	Delaporte, Desarces et Montupet.
	Castan,	—	Badois, Chauveau et Hallopeau.
	Frager,	—	Armengaud, Brüll et Mardelet.
	Lechner,	—	Gottschalk, Mallet et Pontzen.
	Saglio,	—	Carimantrand, Mallet et Marché.

NOTE

SUR L'APPLICATION

DU FREIN WESTINGHOUSE

AU MATÉRIEL

DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'OUEST

PAR M. JULES MORANDIERE.

INTRODUCTION.

La Société a été entretenue à diverses reprises des freins continus et en particulier, du frein du système de M. Westinghouse [1].

Les questions de principe sur l'automaticité ou l'absence de l'automaticité ont été suffisamment abordées dans les discussions qui ont suivi, et il est inutile d'y revenir. D'ailleurs aujourd'hui que des freins continus sont en service courant depuis plusieurs années, il devient intéressant de connaître les faits que signale la pratique journalière. Mon intention est donc de présenter ici uniquement des renseignements en les accompagnant de quelques commentaires, sur l'application, faite par la Compagnie de l'Ouest, du frein à air comprimé; application qui remonte à plus de trois années déjà. En effet, pour le service de l'Exposition de 1878, la Compagnie avait monté 900 voitures et 90 machines. Chaque année de nouvelles commandes ont été faites et actuellement le nombre total des véhicules munis de freins est de :

2.000 voitures et fourgons.
200 machines-locomotives.

1. Séances du 18 mai et du 6 juillet 1877, du 2 juillet 1880. Voir aussi les comptes rendus des conférences et du Congrès du génie civil, au Trocadéro, pendant l'Exposition de 1878.

Cet effectif suffit pour assurer le service :

1° Sur toutes les lignes de la banlieue [1] ;

2° Pour tous les trains express et rapides marchant à une vitesse d'au moins 60 kilomètres à l'heure (c'est-à-dire pour environ 2.510.600 kilomètres par an).

L'application se poursuit sur le matériel des trains de voyageurs, et les crédits alloués par le Conseil d'administration permettent d'achever le travail dans un délai de deux ans.

Nous examinerons dans ce travail les divers points suivants :

1° Rappel sommaire du fonctionnement du frein. Cas où les divers agents du train, autres que le mécanicien, en ont fait usage. Accidents évités.

2° Avantages et inconvénients de l'automaticité. Examen des incidents dus à cette propriété du frein.

3° Temps et longueur nécessaires pour l'arrêt.

4° Expériences faites en vue de constater que le serrage est modérable, c'est-à-dire que le frein peut servir pour la descente des longues pentes.

5° Entretien des appareils.

6° Utilisation du frein pour établir une communication entre les voyageurs et les agents.

I

GÉNÉRALITÉS

Description sommaire du fonctionnement du frein Westinghouse. Facilité donnée aux divers agents des trains de faire usage du frein. Cas où ils en ont fait usage.

Nous rappellerons sommairement que le serrage du frein à air comprimé s'obtient par la manœuvre d'un robinet qui fait écouler une partie de l'air comprimé contenu dans la conduite générale qui règne

1. Le chemin de ceinture (R. D.), dont le matériel entre dans la composition des trains circulaires dans Paris, a également mis des freins à air comprimé à toutes ses voitures et fourgons. La Compagnie de l'Ouest fournit toutes les machines nécessaires pour la traction de ces trains.

sur tout le train. Cette diminution de pression occasionne sous chaque véhicule le déplacement d'une soupape spéciale A (*fig.* 2, *pl.* 28), dite *triple-valve* parce qu'elle remplit les fonctions d'un robinet à trois voies; il en résulte la mise en communication d'un réservoir B chargé d'air comprimé (porté par le véhicule), avec le cylindre C qui opère le serrage des sabots du frein par l'intermédiaire des piston E, E.

Pour desserrer, le mécanicien ramène son robinet dans la position initiale, et met la conduite générale du train en communication avec un gros réservoir d'air comprimé placé sur la machine (*fig.* 1, *pl.* 28). L'air se rend dans la conduite générale et l'augmentation de la pression qui en résulte, soulève la triple-valve; deux effets résultent de ce mouvement: 1° les pistons de serrage des freins sont mis en communication avec l'atmosphère, et le desserrage des sabots s'opère au moyen d'un ressort de rappel; 2° la communication est établie entre la conduite générale et le petit réservoir auxiliaire B placé sous chaque voiture. Ce réservoir se recharge d'air comprimé et est tout prêt à agir pour un prochain serrage.

L'air est comprimé par une petite pompe à vapeur placée sur la machine.

Sur la figure 2, qui représente l'ensemble des appareils et de la tuyauterie pour une voiture, on remarque deux robinets R, R; ils doivent être manœuvrés chaque fois qu'on accouple, ou bien que l'on détache une voiture. Dans une disposition récente (*fig.* 3, *pl.* 28), ils sont supprimés et l'accouplement qui termine le raccord en caoutchouc porte un papillon disposé de façon à s'ouvrir ou à se fermer par le fait seul de l'accouplement. On voit également une valve F manœuvrée de l'extérieur de la voiture au moyen d'une tringle de fer; elle sert en cas de besoin, à faire échapper l'air du cylindre C, et, par suite, à desserrer le frein. Le dessin de cette valve, qui agit quel que soit le sens où on la tire, est donné par la figure 8.

Nous renvoyons d'ailleurs, pour plus de détails, à la note annexe n° 1 qui indique, dans une première partie, les appareils dont se compose le frein Westinghouse, et qui donne, dans la seconde partie, la description détaillée des organes principaux.

Tous les véhicules ayant une vigie ou guérite, et pouvant recevoir un conducteur ou un serre-frein, sont munis d'un robinet branché sur la conduite principale (*pl.* 31, *fig.* 6 et 7).

En manœuvrant ce robinet, un agent occupant une position quelconque dans le train, peut produire le ralentissement ou même l'arrêt du train [1].

On a donc réalisé, par l'intermédiaire du frein à air comprimé automatique, un excellent moyen de mettre les agents du train en communication entre eux et on satisfait ainsi à la prescription de l'article 23 de l'ordonnance du 15 novembre 1846, rappelée un très grand nombre de fois, et en dernier lieu, par la circulaire ministérielle du 13 septembre 1880, de M. le ministre des travaux publics.

On a constaté jusqu'à ce jour plusieurs cas où les agents du train ont fait utilement usage de ce moyen de communication : ainsi, par exemple, un mécanicien ayant, par erreur, mis son train en mouvement lorsqu'il restait encore des voyageurs à monter, le conducteur d'arrière a pu arrêter le train de suite par la manœuvre du robinet mis à sa disposition.

La facilité d'opérer le serrage par un agent quelconque a même conduit la Compagnie de l'Ouest à entrer en toute sécurité dans la voie des groupes de voitures laissés en route par un train express à une station où il ne s'arrête pas, au moyen d'un déclanchement. Seulement pour permettre de bien modérer l'arrêt du groupe laissé, on a remplacé sur la voiture à frein qui est la première de ce groupe, le robinet simple par un robinet pareil à celui du mécanicien, et l'on a ajouté un petit réservoir d'air fonctionnant comme celui de la machine-locomotive Depuis quelques années ce système était en service en été pour l'embranchement de Fécamp et Étretat ; actuellement il sert en outre pour la ligne de Motteville à Saint-Valery [2].

1. On a de la sorte amélioré la situation qui existait de tout temps pour les trains non munis du frein continu ; pour ces trains un agent ne peut qu'attirer l'attention du mécanicien, sans avoir le moyen de produire l'arrêt, comme l'indique l'extrait suivant du *Règlement des conducteurs de train*, art. 83 :

« Lorsque les conducteurs qui ne sont pas en communication avec le mécanicien au moyen de la cloche du tender s'aperçoivent de quelque danger ou de quelque accident qui nécessite *l'arrêt immédiat du train*, ils doivent *serrer spontanément leurs freins* et agiter ensuite le drapeau rouge ou leur lanterne, suivant qu'il fait jour ou nuit ; cette manœuvre sera répétée par chacun des conducteurs jusqu'à ce qu'à ce que le mécanicien ait été averti. »

2. Les prescriptions dont il faut tenir compte pour détacher une fraction de train sont indiquées dans une instruction spéciale jointe au dossier que nous déposons à la Bibliothèque de la Société.

Nous ne croyons pouvoir mieux terminer ces généralités sur le frein Westinghouse, qu'en énumérant un certain nombre d'accidents évités par l'emploi de ce frein. On rencontre dans l'exploitation des chemins de fer deux catégories d'événements que l'on qualifie de la même dénomination « *d'accidents,* » bien que leur gravité soit fort différente. L'une de ces catégories, heureusement fort rare, comprend les accidents qui arrivent dans les rencontres de trains ou de matériel, et lorsque, par hasard, on a couru le risque d'un accident de ce genre, on l'a toujours évité par suite d'un ensemble de plusieurs précautions. Il est donc difficile dans ce cas, de faire la part exacte de chacun des moyens mis en jeu; mais on conçoit que l'emploi d'un frein aussi énergique que le frein Westinghouse, vienne très puissamment en aide à tous les autres moyens de sécurité qui existaient auparavant.

L'autre catégorie se compose principalement d'accidents individuels qui peuvent arriver à des personnes s'exposant à être rencontrées par les trains. Ces accidents fortuits qui résultent toujours d'imprudences ou d'inobservations des règlements, sont malheureusement assez fréquents.

Sous le bénéfice de ces observations nous pouvons citer un certain nombre de cas dans lesquels le frein Westinghouse a évité des malheurs

Relevé de quelques accidents évités par l'emploi du frein Westinghouse[1].

1 cas de collision;

5 personnes suivant ou traversant la voie en dehors des gares;

5 personnes traversant la voie dans une gare et surprises par l'arrivée d'un train;

1 obstacle se trouvant inopinément sur la voie;

2 cas de matériel en stationnement ou en manœuvre, et non garé à temps.

1. Dans l'annexe n° 2, se trouve la description détaillée de ces cas.

II

AUTOMATICITÉ

Avantages et inconvénients.

L'automaticité présente des avantages et des inconvénients qui ont été déjà discutés dans les séances de la Société ; mais nous laisserons, comme nous l'avons dit, la discussion des principes pour exposer des faits ; toutefois, nous devons auparavant rappeler la signification un peu complexe du mot *automatique* appliqué au système Westinghouse.

Voici comment on peut définir cette propriété :

Dans le frein Westinghouse l'action des appareils est toujours préparée à l'avance sur toutes les voitures du train ; ce frein est par suite comparable, comme on l'a dit quelquefois justement, à une série d'armes chargées et armées, et qui seraient par conséquent prêtes à agir sous une très légère pression. Il résulte de là : 1° que l'on peut faire agir les freins d'une façon à la fois très prompte et simultanée ; 2° qu'ils entrent d'eux-mêmes en action, lorsqu'il se produit dans le train une fuite ou un dérangement assez important pour que la certitude du fonctionnement ultérieur ne soit plus complète [1]. Bien que ces dérangements soient extrêmement rares, c'est là une propriété des plus précieuses : en effet, si elle n'existait pas, les dérangements de l'appareil ne se révéleraient que par son non-fonctionnement au moment voulu, ce qui pourrait être une cause directe d'accidents graves ; les agents habitués à arrêter leur train dans un espace d'autant plus court que le frein est plus puissant, et à marcher rapidement, grâce à cet appareil, en toute tranquillité d'esprit, se trouveraient dans l'impossibilité absolue d'employer efficacement les autres moyens d'arrêt à leur disposition, s'ils s'apercevaient inopinément dans un cas d'urgence, que le frein continu ne fonctionne pas.

Cependant, l'automaticité a été l'objet de vives critiques, basées sur ce qu'elle expose le train à s'arrêter en pleine voie ; c'est certaine-

1. Un des cas particuliers où l'automacité devient utile est celui de la rupture d'attelage : les freins se serrent alors d'eux-mêmes très rapidement *dans les deux parties du train.*

ment là le défaut inhérent à sa qualité ; mais d'une part l'inconvénient se présente très rarement ; de l'autre, quand il se présente, il n'a aucune gravité ; en effet, il suffit presque toujours, en pareil cas, d'une ou deux minutes pour remettre les choses en état et reprendre la marche. D'ailleurs un arrêt momentané en pleine voie est un incident qui se produit beaucoup plus fréquemment par une foule d'autres causes, qui est prévu par les règlements et qui, par suite, est sans importance ; il ne saurait à aucun degré être comparé avec le danger considérable indiqué ci-dessus pour le cas où le frein ne serait pas automatique, et que rien ne peut conjurer lorsqu'il se présente[1].

Préférer l'automaticité dans les freins, c'est, d'ailleurs, suivre la marche qui est adoptée, dans un grand nombre de cas, par toutes les Administrations de chemins de fer ; c'est ainsi, par exemple, que les appareils électriques sont disposés de façon à faire partir une sonnerie d'avertissement lorsqu'il y a un dérangement ; c'est ainsi encore que lorsque le fil d'un signal à distance vient à se rompre, le signal se place de lui-même à l'arrêt ; on préfère ici, avec raison, arrêter non pas un train seul, mais tous les trains qui se présentent jusqu'à ce que le signal soit réparé, plutôt que de courir, avant que la gare soit avertie, le risque d'une collision éventuelle.

Lorsque la sécurité peut se trouver engagée, on préfère donc toujours courir la chance d'arrêter de loin en loin un train, plutôt que de s'exposer au risque d'une collision ; cette méthode, très rationnelle, doit, *à fortiori*, être suivie pour les freins qui sont, par-dessus tout, des appareils de sécurité. Il faut s'attacher seulement, notamment au moyen de la visite avant le départ, à réduire, le plus possible, les cas où ces arrêts inopportuns se produisent ; l'expérience prouve que l'on y est parvenu avec le frein Westinghouse d'une façon très satisfaisante.

Et, en effet, pendant l'année 1880, et pour les trains express de grande ligne, les *serrages intempestifs* ayant amené un arrêt en cours de route, se montent en total à 6 pour 273,625 kilomètres parcourus ; soit en moyenne 1 incident pour 45,604 kilomètres.

Pour les trains de banlieue les mêmes incidents forment un total de 16, pour 1,234,335 arrêts effectués, soit 1 sur 19,000 arrêts.

1. Depuis quelque temps d'ailleurs, à notre avis, les objections que l'on faisait à l'automaticité diminuent beaucoup.

Et encore ces chiffres, iront-ils en diminuant à mesure que l'on s'éloignera de la période de début. En effet, sur quatre serrages intempestifs des express du 2e semestre 1880, trois sont dus à une disposition défectueuse d'un tuyau et une fois cette disposition modifiée, l'inconvénient s'est trouvé supprimé. (Pour ces trois cas, l'arrêt a été en moyenne de six minutes, parce que le mécanicien a voulu refaire le joint qui perdait, ce qui lui permettait de continuer ensuite sa route ayant conservé la disposition de son frein). Le quatrième cas, dû à un défaut d'entretien venant du mécanicien, n'a occasionné qu'un arrêt de deux minutes.

Pour la banlieue, le même semestre a donné en tout neuf cas de serrage intempestif, dont quatre se sont produits pendant le mois de décembre sur la ligne de Saint-Germain, où le frein a commencé à fonctionner le 6 décembre seulement; il y avait donc là défaut d'habitude du personnel. Quatre cas sont dus à des ruptures de pièces de mauvaise qualité.

Enfin le dernier de ces cas consiste en une rupture du robinet de vidange du réservoir principal de la machine par suite de la rencontre d'un animal errant sur la voie [1].

Les arrêts que nous venons de signaler ont une durée relativement peu considérable; et les retards qu'ils ont produits ont été récupérés par les mécaniciens [2].

La pratique nous montre donc que l'automaticité n'a occasionné que de très faibles inconvénients, qui ne peuvent être un instant mis en balance avec la sécurité donnée sur le fonctionnement de l'ensemble du frein. Nous devons mentionner ici une observation des plus importantes ; il n'a pas été relevé d'exemple où le frein n'ait pas agi quand on en a eu besoin, c'est-à-dire, pour employer un terme technique, il n'y a pas eu un *raté*. — Point capital pour un frein continu.

1. Ces robinets ont été remplacés et raccourcis de manière à empêcher le retour de semblables événements.

2. En recherchant bien les défectuosités qui pourraient se produire et qui ne seraient pas révélées par le principe automatique du frein, on ne voit que celle du défaut d'accouplement d'une partie du train. Encore faudrait-il, pour que ce premier défaut n'eût pas été corrigé, qu'une deuxième négligence eût été commise, c'est-à-dire l'absence de la visite prescrite au moment du départ (Annexe n° 3).

III

TEMPS NÉCESSAIRE POUR PRODUIRE L'ARRÊT

Exemples de longueurs parcourues pour l'arrêt pour diverses vitesses et diverses natures de trains.

Les arrêts à produire sont de deux natures : l'arrêt dans le minimum de temps possible en présence d'un signal d'arrêt, ou en cas de danger, ou bien l'arrêt ordinaire à une station.

Avec des freins ordinaires qui n'existent que sur un très petit nombre de voitures, il se produit naturellement dans le train des compressions et des extensions alternatives des ressorts de choc et de traction ; il en résulte une sorte de *ressac*, très fort lorsque le train est long et pouvant entraîner des ruptures d'attelages. Cet inconvénient s'est rencontré parfois au début des freins continus, lorsqu'on voulait obtenir un arrêt très rapide, comme en cas de danger [1]. Pour y parer on a augmenté le diamètre des tuyaux, mis de nouvelles triple-valves plus sensibles que les anciennes ; la transmission du serrage se fait pour ainsi dire instantanément et les inconvénients observés ont presque entièrement disparu.

Quant aux arrêts ordinaires, les arrêts trop brusques dont on s'est plaint au commencement tenaient à l'inexpérience de mécaniciens qui manœuvraient le frein sans précautions [2]. Il a suffi, pour remédier aux désagréments signalés, d'apporter de légers changements au mécanisme du frein, et de faire quelques recommandations aux mécaniciens.

En outre, il faut remarquer que, lorsque le frein agit, l'essieu est ralenti plus tôt que la caisse de la voiture : il y a par suite une tendance à faire monter le coussinet sur la fusée. On conçoit donc que la caisse, en revenant à sa place au moment de l'arrêt, subisse l'oscillation brusque que l'on a remarquée quelquefois. On évite cette secousse,

1. Au début de l'application des freins continus, quelques voitures n'avaient pas encore la tension initiale de leurs ressorts de choc augmentée.

2. Quelquefois aussi des groupes composés de voitures munies seulement de tuyaux avaient été mal à propos interposés dans les trains.

faible d'ailleurs, en desserrant les sabots lorsqu'il reste encore 2 ou 3 mètres à parcourir.

Moyennant ces simples précautions, les voyageurs n'éprouvent aucune secousse et les arrêts s'obtiennent, en moyenne, aux stations dans les espaces suivants :

100 mètres sur les lignes de banlieue, où les stations étant très rapprochées, il importe de perdre pour l'arrêt le moins de temps possible, et 200 mètres sur les grandes lignes, pour les trains rapides et express.

En cas d'urgence, on peut obtenir l'arrêt dans des longueurs moitié moindres.

On trouvera consignés dans les pl. 29 et 30 les résultats d'essais faits :

1° Sur un train de banlieue de 24 voitures ;

2° Sur un train express de 12 voitures[1].

Ces expériences ont été faites entre Paris et Mantes, d'après un programme comprenant les divers cas qui peuvent se présenter en service, savoir : ralentissements aux bifurcations, arrêts ordinaires, arrêts brusques devant un signal, arrêt produit par un des agents du train. On relevait à chaque fois la longueur et la durée de chaque arrêt, en même temps qu'un diagramme donnant les conditions de l'arrêt[2].

Tous les véhicules étant munis de freins, leur nombre est sans in-

1. Une copie du procès-verbal relatant des expériences antérieures, faites le 1er avril 1878, est jointe au dossier déposé dans les Archives de la Société.

Nous en extrayons les chiffres suivants :

Noms des gares.	Vitesse en kilomètre à l'heure.	Distance parcourue avant l'arrêt.
Poissy.	88k.5	214 mètres.
Achères.	65	160
Maisons.	76	150

NOTA. — L'arrêt d'Achères a été obtenu par le conducteur d'arrière.

2. Ces diagrammes, qui sont donnés dans les planches 29 et 30, ont été relevés au moyen d'un fourgon-dynamomètre spécial prêté par la Compagnie du Brighton ; la description de ce fourgon a été donnée dans les publications techniques anglaises, notamment *Engineering*, *The Engineer*, etc. Ainsi que dans la *Revue générale des chemins de fer*, 1er semestre 1879, page 119 et planche 12.

fluence sur les conditions de l'arrêt ; l'essieu d'avant de la machine n'est pas actionné par le frein, de telle sorte que l'arrêt est un peu moins énergique à la tête qu'à l'arrière, par contre le serrage se produit un peu plus tard à l'arrière, et il y a là une sorte de compensation.

Nous venons de dire que dans les trains longs, on constatait une différence entre le serrage des premiers et des derniers véhicules ; cette différence est seulement de quelques secondes ainsi que l'établissent des expériences dont le résumé est donné dans le tableau ci-dessous [1].

Nombre de secondes écoulées depuis l'ouverture du robinet par le mécanicien pour divers degrés de serrage et pour les véhicules extrêmes du train.

INDICATION DU DEGRÉ DE SERRAGE.		TRAIN COMPOSÉ DE 12 VOITURES.			TRAIN COMPOSÉ DE 24 VOITURES.		
Temps pour obtenir sur les sabots une pression égale à la moitié de la pression finale.	1re voiture.	0",6	»	»	0",6	»	»
	dre voiture.	»	2",7	»	»	4",5	»
Différence de tête en queue		»	»	2",1	»	»	3",9
Temps pour obtenir la pression finale	1re voiture.	1" 1/2	»	»	1" 1/2	»	»
	dre voiture.	»	3" 1/2	»	»	5" 1/2	»
Différence de tête en queue		»	»	2"	»	»	4"

On voit donc que l'on peut considérer l'action du frein comme instantanée. Toutefois la différence légère observée explique les réactions brusques qui se produisaient au début, notamment avec les trains longs. Les mécaniciens novices, au lieu d'arrêter franchement en une seule fois, ont une tendance à effectuer plusieurs manœuvres successives, ce qui est mauvais, et allonge inutilement la durée de l'arrêt.

D'après tout ce qui précède on voit que les arrêts s'obtiennent sur

1. Ces expériences ont été faites avec les tuyaux de 0m,025 de diamètre, qui remplacent les tuyaux primitifs de 0m,019.

une distance et dans un temps très courts. Il en résulte que le temps alloué, dans la marche des trains pour les ralentissements, peut être diminué. C'est ainsi que sur la ligne d'Auteuil et de Ceinture on a pu ouvrir au service deux gares nouvelles, sans augmenter le temps du parcours, ce qui eut détruit toute l'économie des correspondances ménagées avec les lignes rencontrées.

En outre, on a donné au mécanicien la possibilité de se lancer à une plus grande vitesse entre les stations, parce qu'il a devant lui un plus grand espace à parcourir avant de songer à se servir du puissant moyen d'arrêt qu'il a entre les mains.

En somme, on constate, d'une façon générale, une bien plus grande régularité de marche qu'auparavant.

IV

SERRAGE MODÉRABLE POUR DESCENTE DES PENTES

Expériences de la rampe de Fécamp.

La question de la possibilité de la descente des pentes avec le frein automatique à air comprimé, a été dès l'origine la préoccupation des ingénieurs.

Le raisonnement montre bien que lorsqu'une dépression partielle est produite dans la conduite générale, la triple-valve *descend* en laissant passer une partie de l'air du réservoir auxiliaire dans le cylindre de serrage (position indiquée par la fig. 5 de la pl. 28). La tension de cet air diminue puisque le volume occupé augmente par le déplacement du piston dans le cylindre, et il arrive un moment où l'équilibre s'établit en dessus et en dessous du piston de la triple-valve : la tension de l'air continuant à diminuer au-dessus de la triple-valve, (par l'affluence de l'air du réservoir auxiliaire vers le cylindre), celle-ci remonte doucement et vient intercepter la communication entre le réservoir auxiliaire et le cylindre de serrage, (fig. 7 de la pl. 28). A ce moment la tension de l'air, dans le réservoir et au-dessus de la triple-valve, ne diminue plus, la triple-valve reste stationnaire, et l'air qui a été envoyé dans le cylindre de serrage, y reste empri-

sonné en produisant, sur les sabots, une pression continue, mais dont le degré d'intensité est en rapport avec la dépression produite dans la conduite générale [1].

D'après ce qui précède, on conçoit donc qu'en envoyant sur les pistons pour ainsi dire une *bouffée d'air* plus ou moins considérable, on obtient un serrage que l'on règle, que *l'on modère* à volonté. Il restait à voir expérimentalement si le fonctionnement pratique répondait au raisonnement théorique, et si diverses causes, telles que : 1° les fuites d'air, soit par les pistons, soit par la tuyauterie ; 2° les frottements de la triple-valve, etc., etc., ne rendaient pas difficile sinon impossible le *serrage modérable.*

C'est dans ce but que la Compagnie des chemins de l'Ouest, a fait en juillet 1879 des expériences sur la rampe de 17^{mm} par mètre de sa ligne de Fécamp et les résultats de ces essais ont été résumés dans une lettre que nous reproduisons ci-dessous [2] :

« En réponse à votre lettre du 16 juillet dernier, j'ai l'honneur de vous informer que les essais faits sur la ligne de Fécamp avec le frein Westinghouse automatique, ont démontré que l'action peut être graduée à volonté et que cet appareil donne des résultats entièrement satisfaisants dans la descente des trains sur une pente. Ce résultat devait être d'ailleurs prévu après les expériences faites le 30 avril sur la ligne de Paris à Mantes.

« Les nouveaux essais ont été faits entre les Ifs et Fécamp, sur une pente de 17 à 18^{mm} et sur une longueur de 6 kilomètres.

« La vitesse était la même à la fin de cette descente qu'au commencement, de plus la pression de l'air dans la conduite avait été maintenue constante ; on doit donc considérer que le résultat final de l'expérience eût été exactement le même si on avait opéré sur une rampe de longueur plus grande.

« Voici maintenant quelques détails sur la manière dont on a opéré :

« Un essai préliminaire a eu lieu avec les freins à main, les freins

1. En se reportant à la description des appareils (*annexe n° 2*), on verra comment la manœuvre du robinet du mécanicien produit, d'un seul coup et à volonté, une dépression faible ou forte.

2. Lettre adressée, le 13 août 1879, à M. Duchanoy, ingénieur en chef des mines et ingénieur en chef du contrôle, par M. Ernest Mayer, ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

des voitures étant moyennement serrés de manière qu'on n'eût pas à en faire modifier le serrage pendant la descente ; l'appoint nécessaire pour obtenir la régularité de la vitesse étant obtenu par le serrage du frein du tender. La vitesse qui devait être maintenue aussi près que possible de 45 kilomètres à l'heure a varié de 42 à 52 kilomètres, moyenne environ 48 kilomètres à l'heure.

« Dans l'expérience faite avec le frein Westinghouse, le mécanicien, bien que tout à fait nouveau sur la ligne et nullement habitué à ce genre de manœuvre qu'il n'avait jamais eu à pratiquer sur la banlieue, a, dès le premier voyage, maintenu sa vitesse entre 40 et 50 kilomètres avec le même écart qu'à l'essai précédent, et une moyenne qui est exactement de 45 kilomètres à l'heure.

« Dans ces premiers essais, la difficulté ayant paru être pour le mécanicien non de graduer l'action du frein, mais de se rendre compte des augmentations ou des diminutions de vitesse quand elles venaient à se produire, on a fait un deuxième essai après avoir placé sur le tender un indicateur de vitesse que le mécanicien pouvait consulter ; dans ces nouvelles conditions il a pu obtenir une vitesse absolument constante variant à peine de 45 à 47 kilomètres à l'heure.

« Les diagrammes ci-annexés, relevés par M. Westinghouse avec son indicateur de vitesse, permettent de suivre la vitesse du train depuis les Ifs jusqu'à Fécamp, dans chacune des expériences précitées. (Voir pl. 30.)

« En résumé, il résulte nettement de ces expériences que la manœuvre du frein à air comprimé pour la descente des pentes ne comporte aucune difficulté ; elle consiste, en effet, à tourner de temps en temps le robinet à 3 voies, et avec un peu d'habitude de la ligne, le mécanicien arrive facilement à obtenir une vitesse très régulière tout en maintenant constante la pression dans la conduite. »

Il résulte de ce qui précède que le mécanicien a réussi à maintenir la pression dans les réservoirs auxiliaires, et même que cela lui a été très facile [1].

On conçoit que ce ralentissement sur les pentes puisse aussi se faire à l'aide du frein du tender, ou de la contre-vapeur, etc... ; mais aucun

1. A notre avis, cet effet est produit en quelque sorte automatiquement par les manœuvres que le mécanicien est obligé de faire subir à son robinet, et par les jeux de la triple-valve qui résultent de ces manœuvres.

de ces moyens ne peut procurer la même régularité de descente que le frein à air comprimé, par la raison que nous avons fait entrevoir plus haut, savoir : que le mode d'action du frein Westinghouse étant instantané en pratique, l'effet du serrage ou du desserrage se fait sentir aussitôt que le mécanicien juge utile de produire l'un ou l'autre.

V

ENTRETIEN DES APPAREILS

Considérations relatives à la durée des différents organes du frein et à leur facilité d'entretien.

L'usage, en service courant a démontré que les appareils étaient constitués de matériaux durables et ne demandant qu'un entretien peu dispendieux.

Les cylindres et pistons de serrage des sabots, et les petits réservoirs d'air, ne demandent presque jamais de réparation. Les premiers doivent être graissés tous les deux mois avec de l'huile de pétrole pour la conservation de la garniture en cuir.

Les tuyaux placés sous la voiture offrent de nombreux coudes. On obtient toute sécurité en choisissant des tuyaux en fer d'excellente qualité du type dit soudés à recouvrement et en une seule épaisseur. Ils sont essayés à vingt atmosphères.

Les raccords d'accouplement en caoutchouc doivent être de toute première qualité, et ce sont les organes du frein qui demandent les soins les plus minutieux. Ils risquent de s'user assez vite, soit en frottant contre diverses parties de la voiture, soit par suite des formes contournées qu'ils sont appelés à prendre, soit encore par suite de la manipulation continuelle qu'ils subissent dans les compositions ou décompositions de trains. S'ils ne sont pas remplacés à temps, ils peuvent occasionner des fuites assez importantes pour amener un arrêt en cours de route [1]. Nous ferons d'ailleurs observer que ces tuyaux

1. Deux accidents de cette nature se sont produits dans le 2e semestre 1880.

n'appartiennent pas seulement au frein Westinghouse. On les retrouve dans les autres freins à air et même avec des dimensions plus grandes et par conséquent plus gênantes.

La triple-valve a paru, dans l'origine, un organe délicat, et cette première impression que tout le monde a éprouvée, résultait de l'aspect de cette pièce et de ses organes de dimensions restreintes, se rapprochant un peu des mécanismes d'horlogerie. Mais ce n'était là en réalité qu'une impression. Se déplaçant sous une pression de 1/4 à 1/2 kilog., elle venait porter sans choc sur son siège; la douceur et la faible amplitude de ses mouvements expliquent très bien pourquoi les divers organes, tiroirs, segments, etc., ont fonctionné sans qu'on ait constaté, ni détérioration ni usure.

Le modèle de triple-valve qui est en service depuis deux années est parfaitement proportionné aux fonctions qu'il a à remplir. Il est représenté sur la pl. 28, et offre, d'ailleurs, des simplifications et améliorations sur le premier modèle essayé au début du service. Ainsi, une aiguille très fine a disparu; les tuyaux aboutissent tous à la partie supérieure, de telle sorte que, sans les défaire, on peut démonter la partie inférieure, retirer l'ensemble de la partie mobile, la visiter rapidement et facilement, et la remettre en place sans tâtonnement dans la position convenable et sans crainte de fausser aucune pièce. La partie inférieure de la triple-valve forme une poche dans laquelle se dépose l'eau, ou bien les poussières, qui pourraient arriver par les tuyaux. Les quantités de matières étrangères qui peuvent ainsi parvenir sont très faibles, et les visites générales peuvent se réduire à une ou deux par an. Au chemin de fer de l'Ouest, les triple-valves ont traversé deux périodes exceptionnellement rigoureuses : en décembre 1879 et en janvier 1881, la visite avait été faite un peu avant l'hiver, et il n'a été relevé qu'un seul cas de non-fonctionnement d'une voiture d'un train, par suite d'un triple-valve gelée.

L'entraînement de l'eau dans les triple-valves est d'ailleurs combattu très efficacement par la présence, sur les machines, ou les tenders et sur les fourgons (dont un se trouve toujours en tête du train), d'une petite poche de vidange interposée sur la conduite générale, et qui est vidée tous les deux ou trois mois par mesure de précaution spéciale. En outre, le grand réservoir d'air placé sur la machine, lequel est en communication directe avec la pompe de compression, est muni de bouchons de vidange fréquemment ouverts; les tuyaux de

prise d'air de la conduite générale doivent être branchés sur le sommet de ce réservoir. Ce grand réservoir, non plus que les autres organes spéciaux placés sur la machine, ne donnent lieu qu'à peu de remarques.

Les pompes de compression à vapeur étant en fonctionnement constant, occasionnent les réparations de tout organe qui s'use par le fait de son service.

Cet appareil doit être l'objet de quelques soins spéciaux, soit, par exemple, pour le graissage, soit en temps de gelée, où il faut prendre les mêmes précautions que pour les pompes ou injecteurs. Il est à noter que depuis trois années, il n'a été relevé que très peu de cas où le frein ait été paralysé pendant une partie du parcours par suite du non-fonctionnement de la pompe à air.

Nous ferons d'ailleurs observer que les pompes ne se trouvent que sur les machines, c'est-à-dire sur une très petite proportion de l'effectif total muni du frein à air comprimé.

Les freins proprement dits, appelés aussi *freins de fondation*, établis suivant les modèles de la Société Westinghouse, se sont fort bien comportés.

Les freins des machines ont des cames composées de parties de cercles et tracés de manière à rapprocher vivement les sabots, puis à opérer ensuite un serrage énergique (*fig.* 1, *pl.* 28).

Les freins des voitures sont à 8 sabots, d'une construction simple, offrant peu d'articulations et peu dispendieuse.

Pour les tenders et les véhicules munis à la fois de freins à vis et à air comprimé, on obtient la faculté de serrer, en ajoutant une paire de balanciers auxiliaires. Ces derniers sont placés dans le plan horizontal, et cette position se prête mieux que toute autre à l'emploi d'un grand nombre de pièces identiques pour les divers modèles de véhicules. (*pl.* 32, *fig.* 5 et 6.)

Il a été reconnu que la fonte très douce était le meilleur métal à employer pour les sabots.

Une qualité très précieuse du frein Westinghouse, c'est de permettre d'avoir dans le montage des articulations très libres (même un peu *gaies*), et d'avoir une course notable des sabots, ce qui assure le desserrage.

On s'est demandé si l'emploi du frein continu Westinghouse n'amènerait pas une augmentation notable de l'usure des bandages, d'autant plus qu'on avait de tout temps, remarqué qu'il y avait plus de

ruptures de bandages sous les véhicules à frein que sous les autres. Mais la réponse est facile ; en effet, il est difficile d'établir une analogie quelconque entre les anciens freins et les nouveaux. Lorsqu'il n'y a que quelques freins, on doit tendre à produire le maximum de serrage avec chacun, ce qui conduit à caler les roues, lesquelles frottent souvent ainsi pendant un kilomètre et plus et sur un même point de la circonférence. De là, des échauffements partiels, des dilatations inégales, et aussi la formation de plats qui occasionnent de nombreux chocs lorsque le frein est desserré. Mais lorsque tous les véhicules sont munis de freins, il suffit, ainsi qu'il a été dit, de produire un serrage modéré qui ne cale pas les roues ; l'échauffement ne se produit pas parce que l'arrêt se fait sur une très petite longueur, et parce que les points sur lesquels le frottement s'exerce sont incessamment renouvelés.

Il y avait donc lieu de penser, et l'expérience l'a prouvé jusqu'à ce jour, que l'emploi du frein Westinghouse bien loin de développer l'inconvénient que semblait présenter les freins ordinaires, tend au contraire à le faire disparaître. En particulier, la Compagnie de l'Ouest n'a eu aucune rupture de bandages, depuis 1878, sous les véhicules munis du frein Westinghouse.

Les traités passés avec l'inventeur réservaient à la Compagnie de l'Ouest la faculté de faire faire, par la société Westinghouse, l'entretien des pièces fournies par elle, aux conditions suivantes :

25 francs par véhicule et par an pour l'ensemble des appareils spéciaux.

Ou bien 2 fr. 50 par véhicule et par an pour les triple-valves seulement.

Si nous sommes bien renseignés, ces prix ont même été récemment abaissés. Malgré cela aucune des très nombreuses compagnies qui ont traité avec la société Westinghouse, ne s'est montrée disposée à user de cette faculté; preuve que partout les dépenses sont restées bien au-dessous de ces chiffres. Cette conclusion paraît en effet hors de doute pour la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

VI

SIGNAUX D'INTERCOMMUNICATION

Signaux fonctionnant au moyen de l'air comprimé et mettant en communication les voyageurs avec les agents des trains.

Dès l'origine, M. Westinghouse a étudié, comme complément de son frein, l'utilisation de l'air comprimé pour établir une communication entre les voyageurs et les agents des trains. En tirant une corde placée dans le compartiment, on ouvrait un robinet qui envoyait l'air comprimé dans un sifflet d'alarme placé au-dessus de la voiture et qui faisait partir en même temps un autre sifflet placé sur la machine.

Les essais faits avec cet appareil ont montré que l'écoulement de l'air de la conduite produisait l'arrêt du train au bout de peu de temps.

Pour remédier à cet inconvénient, le sifflet placé sur la machine, a été relié à l'ensemble du frein par un diaphragme A, par une valve régulatrice B, et par un certain nombre de tuyaux, comme l'indique la figure 9, pl. 28.

Lorsqu'un appel est fait du compartiment, il produit une dépression par le tuyau *b* sur le dessus de la valve : celle-ci se soulève, et établit la communication entre le réservoir auxiliaire et le diaphragme A, lequel à son tour met en communication le sifflet M avec le réservoir principal de la machine. Le mécanicien prévenu prend alors les mesures nécessaires, soit pour arrêter le train, s'il y a lieu, soit pour envoyer simplement un agent pour se renseigner sur la cause de l'appel.

Cette modification apportée par la Compagnie de l'Ouest à la première disposition de l'appareil Westinghouse a fait l'objet d'essais suivis, et les résultats ayant été satisfaisants, il est à présumer que ce système d'intercommunication entrera prochainement dans la voie d'une application générale.

ANNEXE N° 1.

NOTE DESCRIPTIVE

Nous indiquerons dans la première partie de cette note, les appareils dont se compose essentiellement le frein Westinghouse, ainsi que le mode général de fonctionnement de ces appareils. Dans la seconde partie, nous donnerons la description plus détaillée de quelques-uns de ses organes principaux.

I

Description générale des appareils automatiques à air comprimé du système Westinghouse.

L'air est comprimé par une petite pompe placée sur la machine, puis emmagasiné dans un réservoir principal également placé sur la machine, dans une conduite qui circule tout le long du train et dans de petits réservoirs, appelés réservoirs auxiliaires, placés sous les véhicules.

Pour serrer le frein, le mécanicien n'a qu'à ouvrir un robinet à soupapes placé à sa disposition et à faire ainsi communiquer la conduite générale avec l'atmosphère ; les conducteurs peuvent produire le même résultat en ouvrant un robinet qu'ils ont sous la main. La conduite du train se vide, cette dépression détermine, sous chaque voiture le mouvement d'un organe appelé *triple-valve*, qui met alors en communication le réservoir de la voiture avec le cylindre du frein ; l'air comprimé du réservoir actionne le piston unique ou les deux pistons placés dans ce cylindre et produit le serrage du frein.

Pour desserrer le frein, le mécanicien tourne son robinet de manière à admettre de nouveau l'air comprimé dans la conduite du train ; la triple-valve, ramenée dans sa première position, isole le réservoir

d'avec le cylindre et fait communiquer celui-ci avec l'atmosphère ; le frein se desserre, le réservoir se remplit d'air comprimé et ces opérations successives se renouvellent à chaque serrage.

La figure 1, pl. 28, représente la disposition des appareils et de la tuyauterie de la machine.

Les figures 2 et 3, pl. 28, — 1 à 6 pl. 32, indiquent la disposition générale des appareils placés sous chaque véhicule.

Cylindre à 2 pistons. — Dans la disposition adoptée pour la plus grande partie des voitures le cylindre du frein contient 2 pistons ; chacun d'eux agit par l'intermédiaire de sa tige sur les sabots d'une paire de roues ; pendant la période de serrage, l'air comprimé arrive entre les deux pistons, les éloigne l'un de l'autre en exerçant sur chacun la pression nécessaire au serrage ; pendant le desserrage, l'air comprimé est évacué du cylindre dans l'atmosphère, par le jeu de la triple-valve : les ressorts placés à chaque bout du cylindre rapprochent les pistons et desserrent les freins.

Robinets. — Les robinets RR de deux voitures voisines (*pl.* 28, *fig.* 2); doivent être ouverts aussitôt qu'on a fait l'accouplement des deux voitures : avant de les désaccoupler, on doit fermer les deux robinets.

Les robinets M et N ne sont manœuvrés que très rarement, le robinet M permet d'isoler une voiture de la conduite principale du train, lorsque cela est nécessaire sans pour cela empêcher les freins des autres véhicules d'agir. Le robinet N permet, en cas de besoin, en laissant échapper l'air du cylindre, de desserrer le frein d'une voiture qui n'est pas accouplée avec une machine munie du frein à air comprimé.

II

Description détaillée du fonctionnement de la triple-valve et du robinet à soupape du mécanicien.

TRIPLE-VALVE. — La triple-valve est représentée en coupe grandeur d'exécution sur la pl. 28 [1].

1. Cette planche représente le nouveau modèle établi par M. Westinghouse. Il diffère de celui qui l'a précédé par de simples modifications de détail, dont l'effet est d'augmenter

Nous examinerons successivement les diverses positions que peuvent prendre les organes de la triple-valve correspondant : 1° au frein desserré ; 2° au frein serré avec le maximum d'énergie ; 3° à une application modérée du frein de manière à produire tel degré de serrage dont on a besoin.

1° *Frein desserré* (*fig.* 4). — L'air comprimé dans la conduite principale entre par le tuyau T, soulève le piston P, passe par l'orifice *d* dans la partie supérieure, puis par l'orifice *d'* dans le réservoir auxiliaire qui se remplit d'air à la même pression que dans la conduite principale. En même temps, le tiroir S qui est entraîné par le piston P, établit la communication entre le cylindre du frein (tuyau D) et l'air extérieur (orifice H). Aucune pression n'étant exercée sur le piston de ce cylindre, le ressort de rappel desserre le frein.

2° *Frein serré* (*fig.* 5). — On évacue l'air contenu dans la conduite principale et par suite dans la capacité A ; la pression se trouvant plus élevée sur la face supérieure que sur la face inférieure du piston P, celui-ci s'abaisse masquant l'orifice *d*, le tiroir S s'abaissant simultanément interrompt la communication du cylindre avec l'atmosphère ; l'orifice du tuyau D est démasqué et la communication s'établit entre le réservoir et le cylindre : l'air comprimé agit sur ce dernier et serre le frein.

3° *Serrage gradué* (*fig.* 6 et 7). Lorsqu'au lieu d'arrêter avec toute l'énergie correspondant à la pleine admission de l'air du réservoir dans le cylindre on veut obtenir un serrage modéré, comme par exemple dans le cas des arrêts ordinaires aux stations, ou pour maintenir une vitesse modérée à un train sur une pente, alors au lieu de laisser échapper complètement l'air de la conduite de manière à produire un abaissement rapide du piston de la triple-valve, on laisse échappper la quantité d'air nécessaire pour réduire la pression dans la conduite de la quantité voulue pour le degré de serrage qu'on veut obtenir (un peu d'expérience apprend vite au mécanicien la relation entre la pression à conserver dans la conduite et le serrage correspondant). Aussitôt que la dépression commence à se produire dans

notablement la sensibilité de la triple-valve. On n'a plus à constater aucun retard, ni hésitation dans le fonctionnement de cet appareil ; la simultanéité de l'action des freins sur chacune des voitures, dont se compose le train, se trouve ainsi complètement assuré.

la capacité A, le piston P commence à se mouvoir lentement (*fig.* 6), entraînant par le verrou M le petit piston Q, qui démasque l'orifice *a* et par la butée N, le tiroir S qui alors intercepte la communication du cylindre avec l'atmosphère. L'air comprimé du réservoir circulant autour de la tige Q, pénètre par l'orifice *a* dans le cylindre du frein; l'air du réservoir se détendant dans le cylindre, sa pression diminue; dès qu'elle est devenue tant soit peu inférieure à la pression de l'air dans la capacité A, le piston remonte légèrement (*fig.* 7), entraîne la valve Q, qui ferme l'orifice *a* et intercepte la communication du cylindre avec le réservoir. La pression de l'air enfermé dans le cylindre et par suite le serrage du frein sont donc exactement gradués par le plus ou moins de pression de l'air maintenu dans la conduite principale.

Robinet a soupapes du mécanicien. — Le robinet à soupapes est représenté par les figures 1 à 5, pl. 31. Il y a lieu de considérer quatre positions de ce robinet, savoir : 1° desserrage du frein; 2° position normale du robinet pendant la marche qui correspond au remplissage et au maintien en pression des réservoirs, les freins étant maintenus desserrés; 3° serrage à fond; 4° serrage gradué.

1° *Desserrage du frein.* — La poignée du robinet occupe la position A1 (*fig.* 2). L'air comprimé venant du réservoir principal de la machine par le tuyau F (*fig.* 1) passe par les orifices EE′ et se rend dans la conduite principale du train G qu'il remplit. Aussitôt que la conduite principale est remplie d'air comprimé, les pistons des triples-valves remontent; les cylindres de freins sont mis en communication avec l'atmosphère et les freins se desserrent comme nous l'avons dit plus haut. Alors le mécanicien déplace la poignée pour la mettre dans la position A2 (*fig.* 2) où elle reste pendant toute la marche du train.

2° *Position du robinet pendant la marche, remplissage des réservoirs des voitures.* — Dans sa rotation, la poignée a fait tourner, par l'intermédiaire de la clé A (*fig.* 1), le tiroir circulaire K, les orifices *a* ne correspondent plus à ceux de la table fixe, mais le petit orifice *g* (fig. 5), du tiroir est venu en regard de l'orifice E′. Voici alors ce qui se passe : l'air de la conduite G ayant pénétré dans les réservoirs

des voitures dont la pression a été réduite au serrage précédent, la pression dans la conduite principale se trouve inférieure à la pression du réservoir principal de la machine en F ; en vertu de cette différence de pression, l'air venant du réservoir principal, soulève le petit clapet L et passe par les orifices *g* et E′, dans la conduite principale, puis dans les réservoirs des voitures. Le clapet L reste soulevé et l'air passe tant que la pression dans la conduite du train, augmentée de la pression correspondant à la tension du ressort S est inférieure à la pression dans le réservoir. La tension de ce ressort est calculée de manière à établir une différence de un kilogr. par centimètre carré entre la pression d'air dans le réservoir de la machine et la pression dans les appareils du train ; à l'aide de cette disposition introduite récemment dans les robinets des mécaniciens, on est assuré au prochain arrêt, d'avoir une différence de pression largement suffisante pour assurer un desserrage rapide du frein.

A partir de la position A^2, en tournant la poignée vers la droite (*fig.* 2), toute communication est interrompue entre le réservoir de la machine et la conduite du train. Les diverses positions de A_2 à A_3 correspondent aux différents degrés de serrage du frein.

3° *Serrage à fond.* — Le mécanicien amène la poignée dans la position A_3 ; dans cette rotation, la vis R à filet très allongé (*fig.* 1), remonte en agrandissant notablement la capacité S dans laquelle est logé le ressort D ; ce ressort se détend ; sa tension qui, dans la position de la poignée en A_1 et en A_2 était supérieure à la pression de l'air, devient inférieure à cette pression et la soupape C qu'il maintient sur son siège se soulève, l'air s'échappe dans l'atmosphère par l'orifice M ; la pression tombe dans la conduite principale G et les freins se serrent.

4° *Serrage gradué.* — Quand on veut produire un serrage modéré, il suffit d'amener la poignée dans une position intermédiaire entre A_2 et A_3 ; le ressort D prend une tension intermédiaire et on obtient dans la conduite principale G une tension précisément égale à celle du ressort, et qu'on peut, par suite, graduer à volonté ; il suffit d'un peu d'habitude pour donner à la poignée la position qui correspond au serrage voulu du ressort, et, par suite, à la pression d'air voulue. Du reste, le mécanicien a sous les yeux un manomètre qui lui donne à chaque instant la pression de l'air dans la conduite G.

La triple-valve et le robinet à soupapes du mécanicien constituent les organes essentiels du système que nous décrivons; c'est pourquoi nous avons cru devoir nous étendre, sur leur fonctionnement et joindre à cette note les dessins grandeur d'exécution.

Nous ferons observer que les dessins représentent les appareils tels qu'ils sont appliqués avec les derniers perfectionnements apportés par l'inventeur ; ils diffèrent de ceux des mêmes organes qui sont compris dans l'album de la Société Westinghouse dont l'impression est déjà un peu ancienne.

En ce qui concerne les autres pièces du frein, nous ne voyons rien à ajouter aux dessins et aux descriptions contenus dans cet album.

Septembre 1879.

Quand il se produit à la conduite principale une fuite importante de nature à compromettre le fonctionnement des appareils, l'air subit une dépression rapide dans la conduite, la triple-valve prend la position indiquée sur la figure 5, et les freins se serrent.

Quant la fuite est légère, il se produit dans la conduite une dépression partielle, insuffisante pour produire le serrage du frein ; alors, la triple-valve s'abaisse d'une petite quantité (intermédiaire entre les positions des figures 4 et 6) ; dans cette position, la rainure *e*, pratiquée dans le tiroir S, permet à l'air du réservoir auxiliaire de s'écouler dans l'atmosphère par l'orifice D, sans exercer de pression dans le cylindre du frein.

Août 1881.

ANNEXE N° 2

RELEVÉ DE QUELQUES ACCIDENTS
ÉVITÉS PAR L'EMPLOI DU FREIN WESTINGHOUSE.

DATES.	NUMÉROS DU TRAIN.	LIEU OU LE FAIT S'EST PASSÉ.	CIRCONSTANCES DANS LESQUELLES L'ACCIDENT A ÉTÉ ÉVITÉ.
			1. — Collision.
1880 15 juillet.	Train 18.	Entre les poteaux kilométriques 12 et 11.	Une voiture attelée d'un cheval était tombée du talus sur la voie ; le train 18 qui approchait pût être arrêté à 60 mètres environ de cette voiture ; la voie est en pente continue de 5 millimètres par mètre.
			2. — Personnes suivant ou traversant la voie en dehors des gares, etc.
1879 18 novembre	Train 46 (Versailles R.-G.)	Passage à niveau de la Patte-d'Oie (près Versailles).	Au moment où le train 46 arrivait au passage à niveau de la Patte-d'Oie, une charrette attelée de deux chevaux traversait le passage à niveau, dont les barrières étaient restées ouvertes, par erreur ; le train composé de dix véhicules, et fortement lancé sur une pente de 5 millimètres, a pu être arrêté dans un parcours de 100 à 110 mètres.
1880 6 mars.	Train 28 (Versailles R.-G.)	Entre Versailles (R.-G.) et Viroflay.	Le mécanicien du train 28 aperçut un enfant marchant sur la voie ; il put arrêter à temps, en faisant usage du frein.
13 mars.	Train 4.	Passage à niveau à 200m de la gare de Bellevue.	Une dame conduisant une voiture d'enfant s'étant précipitée pour traverser le passage à niveau devant la machine, le train put être arrêté à 4 mètres environ de cette dame.
7 mai.	Train 17 (Versailles R.-D.)	Pont de Neuilly...	Le mécanicien apercevant un homme qui cheminait à une faible distance sur la voie siffla, mais vainement, il appliqua alors le frein et put arrêter à 10 mètres environ de cet homme.
15 décembre	Train 36.	Rampe de Saint-Germain.	Au moment du passage du train 36, un surveillant de nuit était tombé sur la voie. Le train put ralentir assez rapidement pour permettre à cet homme de se relever et de passer dans l'entre-voie.

DATES.	NUMÉROS DU TRAIN.	LIEU OU LE FAIT S'EST PASSÉ.	CIRCONSTANCES DANS LESQUELLES L'ACCIDENT A ÉTÉ ÉVITÉ.
3. — Personnes traversant la voie dans les gares et surprises par l'arrivée d'un train.			
1879 22 juin.	Train 244.	Clichy-Levallois...	Un voyageur étant tombé en traversant la voie, à l'arrivée du train 244 ; le mécanicien, en appliquant brusquement le frein à air, parvint à arrêter le train sans avoir atteint le voyageur.
1880 29 mars.	Train 50.	Belleville-Villette..	Une dame traversait la voie à 25 mètres devant la machine ; le mécanicien a pu s'arrêter sans l'atteindre.
4 avril.	Train 60.	Ménilmontant. ...	Un voyageur traversait devant le train qui arrivait en gare. — L'arrêt a eu lieu dans un espace de 18 mètres.
15 mai.	Train 53.	Vaugirard-Issy. ..	Des voyageurs essayaient de monter à contre-voie dans le train 148. Le train 53 put s'arrêter à $0^m,50$ d'une femme et d'un enfant qui se trouvaient sur la voie.
21 juin.	Train 32.	Batignolles.......	Au moment de l'arrivée du train, le laveur Hayes, par suite d'un faux pas, est tombé du quai sur la voie. L'arrêt du train eut lieu à 6 mètres environ de Hayes.
25 août.	Train 70.	Le Point-du-Jour..	Le train 70 arrivait au Point-du-Jour ; le mécanicien apercevant une femme étendue sur la voie, appliqua le frein et put arrêter assez tôt pour ne toucher cette femme que très légèrement à la hanche.
31 octobre.	Train 54.	Puteaux.........	Le train 7 étant en gare, un voyageur d'impériale descendit à contre-voie pour chercher un panier qu'il avait laissé tomber ; le train 54 qui arrivait, et qui d'ordinaire ne s'arrête pas à Puteaux, a pu être arrêté à 1 mètre environ du voyageur.
4. — Obstacle se trouvant inopinément sur la voie.			
1879 31 août.	Train 141	Passy...........	A l'arrivée du train 141, en gare de Passy, le mécanicien a pu, en appliquant vivement son frein à air, s'arrêter à 6 mètres d'une voiture à bras chargée de trois colis, qui était tombée sur la voie, et qu'un homme cherchait à replacer sur le quai.

DATES.	NUMÉROS DU TRAIN.	LIEU OU LE FAIT S'EST PASSÉ.	CIRCONSTANCES DANS LESQUELLES L'ACCIDENT A ÉTÉ ÉVITÉ.
			5. — Matériel en stationnement ou en manœuvres, et non garé à temps.
1880 31 janvier.	Train 58.	Aubervilliers.....	En entrant en gare, vers 6h,40 du soir, le mécanicien trouve les signaux à la voie libre; mais il entend crier; il applique son frein et parvient à arrêter son train dans l'espace de 20 mètres, avant d'atteindre des wagons laissés sur la voie principale par les agents de la gare et non éclairés.
11 août.	Train 25	Évreux...........	Un wagon chargé de paille était en manœuvre sur les voies principales, lorsque le train 25, qui avait trouvé les signaux laissés par erreur à la voie libre, arriva en gare; le mécanicien put s'arrêter à 20 mètres environ du wagon.

ANNEXE N° 3.

Instructions pour la manœuvre des appareils Westinghouse appliqués aux voitures.

FORMATION ET DÉPART DES TRAINS MUNIS D'APPAREILS WESTINGHOUSE. — *Avant le départ d'un train*, les conducteurs doivent, conformément à l'article 12 du Règlement général, n° 3, s'assurer que les freins à vis ordinaires de leur train sont desserrés et qu'ils fonctionnent convenablement. En outre, le conducteur d'arrière doit s'assurer que les accouplements sont faits entre toutes les voitures.

Lorsqu'un train vient d'être formé ou modifié dans sa composition, le conducteur d'arrière, pour s'assurer que la communication est complète, doit, outre l'examen extérieur des accouplements, ouvrir un instant le robinet de sa vigie et s'assurer que l'air comprimé s'échappe avec bruit; puis, immédiatement, se rendre auprès du mécanicien pour lui faire connaître le résultat de cet examen; alors le mécanicien tourne son robinet de manière à déterminer le serrage de tous les freins : le conducteur parcourt le train dans toute sa longueur pour s'assurer que tous les freins sont bien serrés ; arrivé à la dernière voiture, il fait signe au mécanicien, qui manœuvre son robinet de manière à desserrer les freins; le conducteur revient alors tout le long du train en s'assurant que les freins sont bien desserrés.

Si l'examen fait par le conducteur révèle que le fonctionnement n'est pas parfait, il signale les points défectueux au visiteur (ou à son défaut au mécanicien), qui prend immédiament les mesures utiles pour les faire disparaître.

DÉSACCOUPLEMENT DES MACHINES ET DÉCOMPOSITION DES TRAINS. — Dans une gare où on doit faire une manœuvre, et avant de désaccoupler la machine ou une partie quelconque du train, le conducteur doit s'assurer que les freins à air comprimé sont desserrés tout le

long du train. Si un ou plusieurs freins sont restés serrés, le conducteur le signale au mécanicien, qui prend les mesures utiles pour les desserrer.

Avant d'opérer le désaccouplement de deux parties quelconques du train, l'agent chargé de ce travail *doit tout d'abord et avant de toucher au tendeur* séparer les boyaux d'accouplement et, seulement après, le tendeur d'attelage.

Lorsqu'une ou plusieurs voitures séparées de la machine ont leurs freins serrés, pour les desserrer il faut : ou les atteler de nouveau avec une machine munie de l'appareil Westinghouse, ou bien, à défaut d'une machine ouvrir la valve de décharge d'air en tirant la tringle de fil de fer placée sous le brancard de la voiture.

ANNEXE N° 4

FREIN A AIR COMPRIMÉ A 8 SABOTS.

LISTE DES PIÈCES DU FREIN SUR UNE VOITURE.

POIDS.

	kil.	
2 bielles de commande et leurs axes................	20	
4 leviers ou flasques et leurs axes..................	24	
4 tiges de suspension des flasques..................	12	
4 triangles..	90	314 kil.
8 sabots en fonte..................................	96	
8 bielles de suspension des sabots et leurs axes......	30	
8 blocs pour attacher les bielles F..................	38	
Boulons divers, écrous, clavettes, goupilles, etc.......	27	
Cornières..	50	80
Liens et colliers pour attache des réservoirs auxiliaires	3	
Tuyauterie...	27	27
Ensemble.............		417 kil.
Appareils à air comprimé (cylindre à air, cylindre de serrage, triple-valve, raccords en caoutchouc, etc..................		108
Poids total général..........		525 kil.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'AOUT 1881

Séance du 5 Août 1881.

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 juillet est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce dans les termes suivants la mort de M. Piquet.

M. Piquet (Alphonse-Émile), qu'une mort prématurée vient de nous enlever, était sorti de l'École centrale, en 1849; il était le fils de ses œuvres, c'est au travail seul qu'il a dû la haute position qu'il avait acquise.

Entré à sa sortie de l'École, aux forges d'Allevard, il les quitta pour aller en Espagne, attaché à une Compagnie pour la recherche des richesses minérales du pays. Après avoir dirigé les mines de l'Horcajo et de Cercédilla, il s'établit à Madrid, où il fonda un cabinet d'ingénieur civil.

M. Piquet avait su se créer dans cette position nouvelle une juste considération et plusieurs établissements les plus considérables de France l'avaient chargé de leurs intérêts dans ce pays.

M. Piquet a fait à notre Société des communications intéressantes sur les travaux géologiques de la province de Madrid et de Santander, qui ont été très appréciées.

Il avait accepté dernièrement d'être le correspondant de notre Société à Madrid, et nous comptions sur sa parfaite connaissance du pays, sur son concours éclairé et sur son dévouement pour être tenus au courant des travaux de l'industrie de l'Espagne. Sa mort est une perte sensible pour la Société.

M. LE PRÉSIDENT annonce que le Comité a choisi M. Lavezzari pour remplacer notre regretté collègue, M. Demimuid, comme architecte de la Société.

M. le Président fait part à la Société de la nomination de MM. Bréguet, Despretz (Marcel), Fontaine, Jousselin, Lartigue, Mathias (Félix), Regnault, comme membres du Congrès international des électriciens.

M. le Président rappelle à la Société que le Comité a décidé que la 4e section, dont M. Brüll est président, se réunirait pour examiner les produits et les travaux les plus remarquables de l'Exposition d'électricité et faire des communications à la Société sur ce sujet.

M. Brüll doit convoquer bientôt les membres de sa section, ainsi que les Sociétaires qui désireraient se joindre à cette commission.

M. le Président invite donc toutes les personnes qui veulent prendre part à ces travaux, à vouloir bien donner leurs noms au Secrétariat à M. Husquin de Rhéville.

M. le Président a le plaisir d'annoncer la nomination de M. Jordan, comme officier de l'Instruction publique et celle de M. Cerbelaud, comme officier d'Académie.

M. Bodin donne lecture de la note ci-dessous, intitulée : *Considérations sur les communications de M. Seyrig et de M. Eiffel, relatives aux viaducs du Douro et de Garabit.*

Il a été fait à votre Société en 1878 une communication de M. Seyrig sur le viaduc du Douro, à Porto [1], et le 1er octobre dernier, une communication de M. Eiffel, sur le viaduc de Garabit, projeté dans le même système que celui du Douro.

Il résulterait des chiffres énoncés par M. Seyrig dans sa communication que le prix, au mètre carré d'élévation, du viaduc avec travée centrale en arc, exécuté par M. Eiffel sur le Douro, serait beaucoup moindre que les prix proposés pour l'exécution de ce viaduc par d'autres systèmes de constructions.

Rappelons à cette effet les chiffres cités par M. Seyrig.

Projet n° 1.	169 fr.	le mètre carré.
Projet n° 2.	110 fr.	—
Projet n° 4.	85 fr. 50	—
Projet avec travée centrale en arc.	59 fr. 20	—

Pour celui qui lit ces chiffres, il ne peut donc pas y avoir d'hésitation, et l'emploi d'un grand arc métallique semblable à celui du pont du Douro, apparaît comme la solution de beaucoup la plus économique, toutes les fois qu'il s'agira de franchir une vallée profonde.

D'autre part, d'après la communication récente de M. Eiffel, le viaduc de Garabit coûterait 80 fr. le mètre carré

L'écart entre les prix au mètre carré du viaduc de Garabit et du viaduc du Douro est assez grand pour que l'ingénieur qui, frappé de l'économie

1. Voir les numéros de septembre, octobre 1878 des comptes rendus de la Société.

attribuée à la disposition préconisée désirerait l'employer, soit cependant embarrassé d'appliquer un chiffre certain, s'il a besoin d'estimer un ouvrage de cette nature dans un avant-projet.

C'est pourquoi nous avons été amené à faire une étude comparative des prix de ces deux viaducs. Comme le résultat auquel nous sommes arrivés, renverse tout à fait les conclusions du mémoire de M. Seyrig au sujet de l'économie prétendue du système en arc préconisé, nous avons cru qu'il serait intéressant pour la Société de connaître ce résultat, et c'est ce que nous lui demandons la permission de mettre sous ses yeux.

Rappelons d'abord que chacun de ces ouvrages est destiné à franchir une vallée profonde, et se compose d'un grand arc métallique supportant un tablier à poutres droites ordinaires à une voie de chemin de fer, prolongé à droite et à gauche par des viaducs d'accès; que la disposition recommandée est la partie centrale comprenant le grand arc métallique, et que les viaducs d'accès, soit entièrement métalliques comme au pont du Douro, soit partie métallique et partie en maçonnerie comme au viaduc de Garabit, présentent des dispositions déjà employées (par exemple au Grand-Central par M. Nordling), et consacrées par l'expérience; qu'en conséquence la comparaison, pour être intéressante, doit être faite de manière à dégager la partie centrale, comprenant le grand arc, des autres parties dont les dispositions sont courantes. Comme cependant les communications précitées ne donnent que le prix de revient de l'ensemble en bloc, nous aurons à chercher quel est le prix de la partie centrale des deux ouvrages à comparer.

Les données principales des deux ouvrages, extraites des communications précitées sont les suivantes :

Pont sur le Douro.

Longueur totale du tablier métallique.	$354^m,375$
Distance d'axe en axe des piles principales.	167 mètres.
Longueur cumulée des deux tabliers latéraux. . . .	$187^m,375$
Prix au mètre carré.	$59^f,20$
Distance du rail aux basses eaux.	$62^m,40$

On déduit de là et de l'examen des profils en long.

Surface correspondante à la grande travée en arc mesurée d'axe en axe des piles principales entre le rail et le zéro

$$167^m \times 62^m,40 = 10.420^{m^2}.$$

Surface totale du viaduc mesurée depuis le rail jusqu'au niveau du terrain naturel ou jusqu'aux basses eaux

$$= 16.300^{m^2}.$$

Il en résulte que le prix énoncé par M. Seyrig pour ce viaduc doit être de :

$$16.300 \times 59,20 = 965.000.$$

Il reste pour la surface correspondant aux viaducs d'accès :

$$16.300 - 10.420 = 5880^{m^2}$$

qui donnent une hauteur moyenne de :

$$\frac{5880}{187,375} = 31^{m},50,$$

pour ces parties accessoires.

La donnée du prix au mètre carré en élévation, depuis le rail jusqu'au terrain, ou jusqu'au niveau des basses eaux, étant celle qui a été adoptée dans le mémoire de 1878, pour comparer la valeur du projet du pont du Douro, à celle des projets des autres constructeurs, qui avaient fait des propositions pour la construction de cet ouvrage, c'est ce même mode de comparaison que nous emploierons.

Viaduc de Garabit.

Longueur totale du viaduc.	552^{m},77
Distance d'axe en axe des piles principales.	177^{m},72
Longueur cumulée des viaducs d'accès en métal. . .	270^{m},58
Longueur cumulée des viaducs d'accès en maçonnerie.	104^{m},47
Prix total, toute maçonnerie comprise.	3.100.000 fr.
Prix au mètre carré.	80
Distance du rail au fond de la vallée.	122^{m},50

Surface déduite des données ci-dessus :

$$\frac{3.100.000}{80} = 38.700^{m^2}$$

Un calcul direct de la surface ne nous donne cependant que 34.500$^{m^2}$, ce qui doit provenir de ce que nous avons calculé la surface jusqu'au terrain naturel, tandis que la surface de 38,700$^{m^2}$ comprend sans doute la surface jusque et y compris la base des fondations.

La surface de 34.500$^{m^2}$, se divise en :

Culée-viaduc avec arches en maçonnerie.	2.200$^{m^2}$
Viaducs d'accès avec piles métalliques et soubassements en maçonnerie	13,300
Partie centrale d'axe en axe des piles voisines de la grande travée.	19,000
Total.	34.500$^{m^2}$

Si nous prenons pour surface totale les 38.700$^{m^2}$, résultant de la communication de M. Eiffel, la surface totale des viaducs d'accès y compris les culées-viaduc en maçonnerie sera de 19.700$^{m^2}$.

Nous ne savons pas comment se partagent ces 19.700 mètres carrés; mais nous ne serons certainement pas éloignés de la vérité en admettant entre les parties en maçonnerie et les parties métalliques, le même rapport que celui qui résulte de notre métré direct. Nous trouvons ainsi 2.800$^{m^2}$ de viaducs d'accès, et 16.900$^{m^2}$ de viaducs en métal.

Pour apprécier le prix à compter pour les viaducs d'accès, nous prendrons comme point de départ les prix des viaducs de la ligne de Commentry à Gannat, qui ont été construits par MM. Cail et Eiffel, sous la direction de M. Nordling. Le mémoire très complet publié par M. Nordling dans les *Annales des ponts et chaussées*[1], nous fournit au sujet de ces viaducs le tableau ci-contre, page 280.

Il résulte de ce tableau que le prix au mètre carré en élévation jusqu'au terrain naturel pour les viaducs métalliques considérés, y compris les soubassements des piles, varie peu et qu'il diminue même quand la hauteur augmente, M. Nordling insiste sur ce fait de la diminution du prix avec l'augmentation de la hauteur, mais nous n'y insistons pas, nous supposerons que le prix au mètre carré doit être compté à la moyenne des prix ci-dessus, soit à 61^f,50; nous admettrons même que pour le pont du Douro ce prix ne sera que de 59^f,20, de telle sorte que, pour cet ouvrage, le prix de la partie centrale se trouvera être le même que celui des parties accessoires, soit environ 60 fr. le mètre carré.

Dans la composition du viaduc de Garabit, il entre des viaducs avec arches en maçonnerie, dont le prix est compris dans celui de 3,100,000 fr. indiqué par M. Eiffel. Le prix de 80 fr. le mètre carré pour des viaducs de cette nature nous semble bien suffisant, car le prix moyen des culées-viaduc exécutés par M. Nordling est de 71 fr., d'après le tableau précédent.

Nous pourrons donc pour le viaduc de Garabit, faire le calcul suivant :

2.800$^{m^2}$ de viaducs d'accès en maçonnerie à 80 fr. .	224.000 fr.
16.900$^{m^2}$ de viaducs métalliques à 61^f,50.	1.039.350
Total des viaducs d'accès.	1.263.350 fr.

Reste pour la partie centrale :

$$3.100.000 - 1.263.350 = 1.836.650 \text{ fr.}$$

Soit au mètre carré :

$$\frac{1.836.650}{19.000} = 96^f,50 \text{ fr.}$$

1. Page 170, premier semestre de 1870.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	DÉPENSE.	LONGUEUR.	PRIX du mètre linéaire.	HAUTEUR moyenne au-dessus du sol.	PROFONDEUR maxima du rail au fond de la vallée.	PRIX du mètre carré d'élévation.
NEUVIAL.	fr.	m.	fr.	m.	m.	fr.
Culée-viaduc de la rive gauche..........	23.600	31.30	1.754	13.00		58
Partie centrale métallique..............	229.600	98 25	2.331	33.90		68
Travée vicinale..................... ..	51.800	30.70	1.680	17.25		97
	305.000	160.25	1.903	26.60	44.00	71
BELLON.						
Culée-viaduc de la rive gauche..........	89.000	57.80	1.540	22.50		68
Partie centrale métallique..............	331.000	128.00	2.586	40.45		64
Culée-viaduc de la rive droite..........	74.000	45.60	1.623	19.75		82
	494.000	231.40	2.135	31.90	48.00	67
SIOULE.						
Culée-viaduc de la rive gauche...	22.000	15.00	1.466	13.75		107
Partie centrale métallique..............	467.000	162.60	2.883	45.00		64
Culée-viaduc de la rive droite...........	10.000	3.60	2.800	11.00		»
	499.000	180.20	2.763	41.70	58.00	66
BOUBLE.						
Culée-viaduc de la rive gauche..........	95.000	71.30	1.332	21.00		63
Partie centrale métallique.	941.000	300.00	3.137	53.75		58
Culée-viaduc de la rive droite...........	24.000	23.70	1.010	11.50		88
	1.060.000	395.00	2.658	45.30	66.10	59

Mais il est à remarquer que la surface de la partie centrale ne doit pas être comptée à 19.000$^{m^2}$, si l'on veut pouvoir comparer cette partie du viaduc de Garabit, à celle qui lui correspond dans le viaduc du Douro. En effet, la vallée qui franchit ce dernier ouvrage est remplie par un large cours d'eau, dont le plan, aux basses eaux, à servi à limiter la surface à considérer dans les évaluations qui précèdent. La vallée de la Truyère est au contraire une vallée sèche ou à peu près ; les culées du pont en arcs sont à une grande hauteur (plus de 30 mètres), au-dessus du fond de la vallée, et toute la surface comprise entre le fond de la vallée et le plan qui correspondrait au niveau de l'eau, si la vallée était remplie par un cours d'eau entre les culées, ou si le terrain naturel était situé à ce niveau, doit être retranchée de la surface servant à la comparaison, si l'on veut que les mots que l'on emploie aient la même signification, si l'on veut que la comparaison ait lieu entre des quantités de même nature. S'il en était autrement, il suffirait que la vallée de la Truyère se creusât à pic de 100 mètres de profondeur entre les culées, pour que le prix du mètre carré de la partie centrale diminuât de moitié.

Au pont du Douro, la ligne des naissances des arcs passe à 15 mètres environ au-dessus du zéro ; si nous limitons la surface à considérer pour le viaduc de Garabit à un plan situé à 16^m,50 au-dessous de la ligne des naissances, et découvrant complètement le pied de la culée la plus basse, nous aurons à considérer pour la partie centrale une surface de :

$$177^m,78 \times 90 = 16.000^{m^2}.$$

Le prix de revient de la partie centrale au mètre carré sera donc de :

$$\frac{1.836.650}{16.000} = 115 \text{ fr.}$$

Ainsi, cette comparaison nous conduit, pour le viaduc de Garabit, à un prix presque double de celui du pont du Douro. Nous avons cependant adopté comme surface du viaduc de Garabit le chiffre de 38.700$^{m^2}$, qui résulte des données fournies par M. Eiffel, mais il est plus exact de prendre la surface que nous avons trouvée, et qui s'applique au mètre carré en élévation jusqu'au terrain, puisque c'est ainsi que le mesurage a été fait pour les autres ouvrages, et alors nous aurons :

2.200$^{m^2}$ de viaducs en maçonnerie à 80 fr.	176.000 fr.
13.300$^{m^2}$ de viaducs en métal à 61^f,50.	817.950
Total des viaducs d'accès. .	993.950 fr.

Reste pour la partie centrale :

$$3.100.000 \text{ fr.} - 993.950 = 2.106.050 \text{ fr.}$$

ou au mètre carré :

$$\frac{2.106.050}{16.000} = 131 \text{ fr.}$$

Si l'on remarque d'ailleurs que dans les deux viaducs, la partie centrale a sensiblement la même longueur; la portée de la travée en arc de Garabit, n'étant que de 5 mètres de plus que celle du Douro (165 mètres au lieu de 160 mètres), on peut admettre que le prix de la partie comprise entre le rail et les 60 mètres au-dessous, est le même au mètre carré dans les deux ouvrages; il en résultera que le prix des 30 mètres inférieurs de la partie centrale du viaduc de Garabit, serait de 220 fr. le mètre carré.

Nous nous trouvons donc ici en présence de ce fait relativement à la partie centrale des deux viaducs : deux ouvrages de dimensions presque identiques comme portée, construits dans des conditions économiques analogues, mais dont l'un a une hauteur de 90 mètres, tandis que l'autre en a 60, diffèrent du simple au double, quand on compare leur prix au mètre carré, et du simple au triple quand on compare leur prix absolu, ce type de pont que l'auteur de la note de 1878 avait montré, comme beaucoup plus économique que les autres, double de prix à sa seconde application, et les conclusions de cette note se trouvent devoir être complètement renversées.

D'ailleurs la partie centrale des deux viaducs, que nous avons considérée, comprend :

1° Le tablier supérieur;

2° Une pile (l'autre pile se trouve comprise dans le prix des viaducs d'accès);

3° L'arc principal.

Si nous voulons pousser plus loin cette comparaison, nous pouvons estimer toujours d'après le mémoire de M. Nordling, comme ci-après pour les deux premières parties :

1° Pont sur le Douro.

La partie métallique d'une pile de 47^{m},40 jusqu'au rail peut être comptée au même prix qu'une petite pile de la Bouble de 47 mètres de hauteur. . . . . 67.910 fr.

Soubassement, soit. 15.000

Total pour la pile. . . . . . 82.910 fr.

Tablier. — Comme il se confond avec l'arc sur 40 mètres environ, nous ne le compterons que sur une longueur de 167 mètres — 40 mètres = 127 mètres et à 1.200 fr. (Celui de Bellon vaut 1.223 fr., seulement le mètre courant :)

127 mètres × 1,200 fr. = 152.000 fr.

Total de la pile et du tablier au moins. . . . . . . 234.910 fr.

Reste pour l'arc, au plus (en estimant à 58 fr. seulement, c'est-à-dire au

prix minimum du tableau de M. Nordling, le prix du mètre carré des viaducs d'accès) :

965.000 fr. — 5880$^{m^2}$ × 58 fr. — 234.910 fr. = 389.050 fr.

Soit par mètre courant pour l'arc :

$$\frac{389.050}{167.00} = 2.320 \text{ fr.}$$

2° Viaduc de Garabit.

La partie métallique d'une pile de 65 mètres vaudra (la pile de 62 mètres de la Bouble, valant 87.950) . . . . 95.000 fr.

Soubassement, soit. 25.000

Total. . . . . 120.000 fr.

Tablier : 177^{m}72 à 1.400 fr. (celui de la Bouble vaut seulement 1.293 fr.). 248.000

Total. . . . . 368.000 fr.

Reste pour l'arc seul et ses culées :

2.106.000 fr. — 368.000 fr. = 1.738.000 fr.

Soit par mètre courant pour l'arc :

$$\frac{1.738.000}{177,70} = 9.780 \text{ fr.}$$

au lieu de 2.320 fr., que coûte l'arc du pont du Douro.

La conclusion à tirer des chiffres qui précèdent ne se présente pas immédiatement à l'esprit, peut-être M. Seyrig et M. Eiffel, pourraient-ils nous aider. En attendant on est conduit aux observations ci-après :

Le prix indiqué par M. Seyrig, pour le pont du Douro, n'est peut-être pas le prix définitif de l'ouvrage, qui n'était pas encore réglé quand M. Seyrig a fait sa communication ; nous avons entendu dire depuis que le prix avait été augmenté d'environ 40 à 50 pour 100 ; si le chiffre 50 pour 100 était exact, l'augmentation aurait été de 480,000 fr. en chiffres ronds applicables en grande partie à la travée centrale construite suivant le système préconisé par M. Seyrig, et dont la surface est de 10.420 mètres carrés. En déduisant 100.000 fr. pour modifications diverses, c'est-à-dire ne prenant que 380.000 fr. seulement, l'augmentation serait de 36 fr. par mètre carré à ajouter aux 60 fr. primitivement trouvés par M. Seyrig, faisant ainsi ressortir le prix du mètre carré à 96 fr.

Ce prix n'est d'ailleurs *que le prix commercial*, et tout le monde sait que les constructeurs sont exposés à voir leurs entreprises se solder par des pertes ; du reste on ne peut pas considérer le prix d'un type de pont comme fixé par une seule exécution de ce type, alors surtout que dans un

deuxième marché passé par la même entreprise, le prix unitaire de 60 fr. le mètre carré, indiqué par M. Seyrig pour le pont du Douro ou de 96 fr. auquel nous arrivons ci-dessus, a atteint 131 fr. C'est ce dernier chiffre qu'il faut regarder comme le véritable prix du type d'ouvrage préconisé.

S'il en est ainsi, les ponts à poutres métalliques construits par M. Nordling, sont très supérieurs au point de vue économique au type recommandé par M. Seyrig et M. Eiffel, puisque lesdits ponts n'ont coûté que 61 fr. 50 le mètre carré pour les parties métalliques non compris les maçonneries des accès.

On pourrait encore conclure de ce qui précède, que même quand il y aura lieu de traverser une rivière au lieu d'un ravin sec, il y aura intérêt à préférer le type de pont à poutres reposant sur des piles métalliques au type avec grand arc. Car, par exemple, si la travée centrale au cas du pont en arc avait une surface en élévation de 12.000^{m2} la différence du prix serait de 96 fr. — 61 fr. 50 = 34 fr. 50 ou 131 fr. — 61 fr. 50 = 69 fr. 50; moyenne 52 fr. par mètre carré, entre le type en arc et le type à poutres métalliques; cette différence laisserait une marge de

12,000^{m2} × 52 fr. = 624.000 fr.,

suffisante pour payer une ou deux fondations. Si l'on prenait seulement 10 pour 100 d'augmentation on arriverait au chiffre de 570.000 fr., bien suffisant aussi pour payer une ou deux fondations.

On pourrait objecter, à la vérité, que le viaduc de Garabit est plus élevé que celui du Douro; mais d'après M. Nordling, le prix du mètre carré prend les valeurs suivantes : (Voir le tableau précédent).

58 fr. — 64 fr. — 64 fr. — 68 fr.

quand les hauteurs moyennes de la partie considérée varient entre :

53^{m},75 — 45 mètres — 40^{m},45 — 33^{m},90.

et les hauteurs maxima dans chaque ouvrage entre :

66 mètres — 58 mètres — 48 mètres — 44 mètres.

Or, on peut admettre, que la règle posée par M. Nordling, ne se poursuit pas indéfiniment; mais il est difficile de croire qu'elle s'arrête tout juste à la hauteur du pont du Douro (62 mètres) pour se renverser au delà jusqu'à la hauteur du pont de Garabit (90 mètres).

On pourrait encore objecter que le prix des fers a varié, et que cette variation justifie la différence relevée entre le pont du Douro et le viaduc de Garabit.

Les différents ouvrages dont M. Nordling rend compte, ont été commandés, vers 1867. Le pont du Douro, vers 1875. Le viaduc de Garabit, vers 1879.

Or, les prix des fers à ces trois époques sont assez différents, mais c'est en 1875, lors de la construction du pont du Douro, qu'ils étaient le plus cher, et si pour le pont du Douro on a pu employer des fers étrangers

importés en France sous le régime des admissions temporaires, ils n'étaient guère moins chers que les fers français employés dans les ponts de M. Nordling, et dans le viaduc de Garabit, et il est bien certain que le transport, l'éloignement des chantiers, etc.; sont des charges qui s'ajoutent au pont du Douro.

On peut enfin faire la remarque suivante : dernièrement un concours a eu lieu pour la construction d'un pont à deux routes sur le Douro à Porto, à une faible distance du pont construit en 1877, pour le passage du chemin de fer.

Une maison a présenté à ce concours deux projets avec leurs prix différents. Le prix le plus élevé se rapportait à un projet en arc à une seule travée, le plus faible à un projet à poutres droites avec deux piles en rivière. Ainsi malgré les gros risques des fondations jugées très difficiles, le prix demandé pour la construction d'un viaduc ordinaire était moindre que pour la construction d'un viaduc en arc. Si l'on remarque que le prix du projet adopté, qui est en arc, est aussi supérieur à celui du viaduc avec piles proposé par cette maison, on ne peut avoir de doute que pour un viaduc à grande portée où la difficulté de fondation de piles n'existe pas, la solution la plus économique ne sera pas obtenue en choisissant le type en arc.

M. Courras pense que l'on ne peut pas comparer le système des poutres droites sur piliers métalliques avec celui des arcs pour les grandes portées. On n'adopte, en effet, celles-ci que parce que l'on ne peut pas faire autrement; car on considère comme impossible, jusqu'à présent, de faire un pont métallique avec des piles de 125 mètres, hauteur qu'il s'agit de regagner entre le sol de Garabit et le rail. Il ne comprend donc pas le sens de la communication qui vient d'être faite au point de vue d'une comparaison entre une chose faite et une chose sinon impossible, mais au moins considérée comme telle jusqu'à présent. Il existe depuis longtemps des portées de 150 mètres notamment en Hollande, tandis que l'on n'a pas encore essayé de faire des piles de 125 mètres de hauteur.

M. Bodin fait remarquer qu'en définitive on peut considérer l'arc de Garabit comme deux contre-fiches qui représentent les deux piles jugées impossibles.

M. Courras admet jusqu'à un certain point cette remarque, mais il ajoute que les grandes portées ont déjà été exécutées, qu'elles sont pratiques, tandis que l'on a reculé jusqu'à présent devant l'exécution de quilles de 125 mètres de hauteur, qui ne constituent probablement pas la solution que recommanderait M. Bodin.

M. Bodin répond qu'il n'a pas voulu préconiser un système plutôt qu'un autre, mais seulement examiner deux mémoires qui sont en désaccord et demander des explications. L'une des communications semble dire que le pont du Douro revient à 60 francs le mètre, une seconde communication dit que le viaduc de Garabit revient à 80 fr. le mètre carré. Il y a là un désaccord à élucider.

M. le Président résume les conclusions de M. Bodin, qui se divisent en deux parties. Dans la première, M. Bodin pose cette question : pourquoi le prix de 60 francs dans un cas et de 80 francs dans un autre? Dans la seconde partie, M. Bodin arrive à cette conclusion : Si c'est le prix de 80 francs qui est exact, je préfère les ponts à piles aux ponts en arc.

M. le Président pense que M. Eiffel peut répondre à la première question.

M. Eiffel fait remarquer que les comparaisons de prix étant toujours très délicates, des comparaisons de poids seraient beaucoup plus du ressort de l'ingénieur et que d'ailleurs n'ayant pas eu connaissance du mémoire de M. Bodin, malgré la demande qu'il lui en avait faite, il ne peut pas examiner les chiffres en détail; la communication aurait gagné beaucoup en intérêt si M. Bodin s'était adressé à lui pour avoir des chiffres exacts.

Le chiffre indiqué dans la communication de M. Seyrig n'est pas le prix réel du pont : c'est le prix qui était proposé pour le premier projet et non pas le prix du projet définitif. Le projet primitif a été considérablement modifié par la Compagnie, ce qui a augmenté très notablement le prix de l'ouvrage [1].

Une augmentation de prix au mètre superficiel pour Garabit, s'il y en a une (ce dont M. Eiffel ne se souvient pas exactement, parce qu'il n'attache pas une grande importance à cette indication), serait justifiée par de nombreuses raisons : prix du fer doublé en raison de la variation des cours et de l'emploi de fers français au lieu de fers belges; prix de transports plus élevés en raison de l'emploi du chemin de fer et des routes au lieu de la voie presque exclusivement maritime, changement du système du tablier qui est à voie intermédiaire au lieu d'être à voie supérieure, modification de la surcharge imposée, etc.

C'est, du reste, une très mauvaise méthode que de comparer au point de vue des prix des ouvrages placés dans des conditions absolument différents. Cette comparaison doit principalement se faire au point de vue des quantités. Chacun sait qu'il serait impossible de comparer au point de vue de la valeur du projet deux viaducs de maçonnerie en se basant sur leur prix de revient; il y a des localités, même sans sortir de France, où la maçonnerie brute coûte 30 francs et d'autres où elle n'en coûte que 15.

M. Godfernaux retient des paroles de M. Eiffel que les prix comparés par M. Seyrig, dans le mémoire de 1878, ne se rapportent pas à des ouvrages comparables, puisque le prix du pont en arc a été augmenté en exécution.

D'ailleurs, en se reportant aux planches de 1878, on voit que les projets présentés par les Sociétés qui ont concourru, ont la portée de 168 à

1. Il résulte de la Notice, publiée par M. Eiffel, sur le pont du Douro, que le prix du mètre superficiel est de 81 francs. Une notice très détaillée indiquant tous les poids et les prix réels a été également publiée dans le Portefeuille des ponts et chaussées, et on y trouve un prix de 79 fr. 50 pour une surface un peu différente et évaluée à 16 825$^{m^2}$. On peut donc admettre le prix moyen de 80 francs, qui est le même que celui indiqué pour Garabit.

170 mètres, adoptée pour l'exécution, tandis que le projet primitif en arcs n'avait que 148 mètres, et a dû être beaucoup augmenté, on a donc comparé des prix qui ne se rapportent pas aux mêmes longueurs et la comparaison n'est pas exacte.

M. Eiffel répond que cette discussion de la valeur relative des projets présents au concours du pont du Douro lui semble bien manquer d'actualité. Malgré l'augmentation du prix primitif, on est encore resté au-dessous des offres faites par les autres constructeurs. Ces offres elles-mêmes auraient probablement donné lieu à une plus-value en raison des exigences qui se sont produites plus tard.

M. Hauet demande à M. Eiffel s'il ne pourrait pas indiquer le prix de revient définitif du pont du Douro au mètre superficiel, afin que l'on puisse établir une comparaison.

M. Eiffel répond que, n'ayant pas eu connaissance de la communication de M. Bodin, il n'a pas pu se préparer à cette discussion; il ne se rappelle que le chiffre total qui est 1.340.000 francs[1], au lieu des 965,000 francs admis par M. Bodin.

D'ailleurs toutes ces comparaisons de prix manquent absolument de base.

M. le Président pense que pour faire une comparaison exacte directe avec le pont du Douro, il faudrait un autre pont fait à côté; on aurait alors deux termes comparables. Dans tous les autres cas on ne pourra faire que des hypothèses.

M. Courras fait remarquer que dans les ponts en pierres le prix varie du simple au double, suivant les temps et les lieux, même avec les mêmes matières et la même surface, le prix est donc un mauvais mode de comparaison.

M. Bodin répond que dans un travail de cette importance le prix est cependant à considérer. Quant au mode de comparaison par prix au mètre carré, ce sont M. Seyrig et M. Eiffel qui l'ont indiqué les premiers dans leurs communications.

M. Courras trouve que c'est aller beaucoup trop loin que de comparer ces chiffres pour en dégager une supériorité de système.

M. Bodin insiste sur ce point que dans la communication faite par M. Seyrig le prix indiqué se rapporte à l'avant-projet tandis que les planches se rapportent au projet définitif, c'est ce qui porte à croire que cet ouvrage n'a coûté que 59 fr. 20 le mètre carré.

M. Eiffel n'a pas à défendre la manière dont M. Seyrig a rédigé son mémoire, mais il se souvient que le prix de 59 francs indiqué par M. Seyrig, était le prix fait à ce moment-là; l'exécution n'a pas suivi le projet primitif qui a été modifié.

M. le Président pense que les explications données par M. Eiffel peuvent justifier la différence de prix indiquée par M. Bodin et propose de passer à la seconde partie des conclusions de sa communication; dans le

1. Le prix au mètre superficiel est de 80 francs, ainsi qu'il résulte de la note précédente.

cas où le prix de 80 francs serait exact on devrait donner la préférence aux ponts à piles sur les ponts en arc.

M. Bodin demande qu'il soit constaté qu'il ne préfère pas un système à un autre, mais seulement qu'il lui semble que le prix d'une travée centrale en arc dépasse le prix de la solution avec piles. En considérant le prix de 131 francs de la travée centrale de Garabit, il semble qu'il serait plus économique d'employer un autre système.

M. le Président répond que ce prix n'est pas encore une donnée certaine, définitive, l'ouvrage n'étant pas terminé ; dans ces conditions il pense donc qu'il est préférable d'ajourner la discussion de ce second point et il remercie M. Bodin de sa communication.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Fousset sur un avant-projet sommaire de prolongement stratégique vers Géryville et Tyout du chemin de fer d'Arzew à Saïda.

Le secrétaire donne lecture de cette communication qui sera insérée *in extenso* dans le bulletin.

M. le Président fait remarquer que M. Fousset est directeur de l'exploitation du chemin de fer d'Arzew à Saïda, en sorte que sa position donne un intérêt tout spécial à sa communication et que les chiffres qu'il avance ont une certaine valeur.

Ce projet indique une voie étroite de $1^{m},10$ d'écartement et il est intéressant de voir ce que l'on peut faire avec une voie de cette dimension.

Depuis que le travail de M. Fousset a été envoyé à la Société, les Chambres ont voté le prolongement du chemin de fer en question dans la direction de Mechéria. Le ministre de la guerre est chargé de cette construction sauf à s'entendre ultérieurement avec la Compagnie franco-algérienne. Les travaux seront poussés activement de sorte que satisfaction est déjà donnée au désir exprimé par M. Fousset.

M. Hauet pense que l'on doit être d'autant plus heureux de l'adoption de ce projet qu'il consacre la voie étroite en Algérie qui, jusque-là, était rejetée par les Ingénieurs et les Conseils généraux.

Il n'y a qu'une seule autre ligne à voie étroite en Algérie, celle de Mokta-el-Adid.

M. le Président ajoute que la ligne de Saint-Louis au Sénégal sera construite dans les mêmes conditions; l'État semble donc disposé aujourd'hui à adopter la voie étroite.

Les membres admis dans la présente séance sont :

MM. Blanc, Castan, Frager, Lechner et Saglio.

CHRONIQUE

SOMMAIRE. — Exploitation des petits chemins de fer à locomotives. — Les chemins de fer de l'Inde. — Matériel roulant des chemins de fer américains. — Consolidation du grand pont suspendu de Fribourg. — Les débuts du procédé Bessemer. — Fabrication de la soude à l'ammoniaque. — Fabrication du gaz à l'huile. — Association des Ingénieurs allemands.

Exploitation des petits chemins de fer à locomotives. — M. von Borries, ingénieur des chemins de fer de l'État de Hanovre, a donné dans les *Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen*, une étude très intéressante sur la construction et l'exploitation des petits chemins de fer à traction par locomotives dont nous allons indiquer les points principaux.

Les chemins de fer à traction par locomotives sont supposés pouvoir être établis avec trois voies différentes, la voie normale, la voie de 1 mètre et la voie de $0^m,75$. M. von Borries, pour la voie normale où doivent circuler les wagons des grandes lignes, admet une charge par essieu de 9 tonnes; il la réduit à 7500 kilog. pour la voie de 1 mètre qui portera des wagons pesant 5 tonnes et pouvant recevoir une charge de 10 tonnes et à 3,750 kilogrammes pour la voie de $0^m,75$ portant des wagons de 2,500 kilogrammes chargés de 5 tonnes.

La règle générale de l'exploitation doit être la simplicité de construction et de service. On conservera le tirage forcé qui est la meilleure manière d'obtenir le tirage et on n'emploiera qu'exceptionnellement la condensation qui est coûteuse. Les machines portant nécessairement leurs approvisionnements auront deux ou trois essieux accouplés; elles n'auront que strictement le poids nécessaire pour l'adhérence correspondant à l'effort de traction et sur les rampes la vitesse sera réduite autant qu'il faudra pour que la chaudière fournisse la vapeur nécessaire. Sur des rampes exceptionnelles on pourra employer des machines spéciales portant des bagages ou encore des voyageurs, c'est-à-dire une charge utile qui sera employée pour l'adhérence[1]. On devra en général préférer des machines à deux essieux accouplés. Le personnel sera réduit autant que possible, car chaque employé représente en salaire de 6 à 15 pour 100 des dépenses de traction.

1. Voir Chronique de septembre 1880, page 304. Locomotives autrichiennes pour service secondaire.

Sur les petits chemins de fer, on n'a pas besoin continuellement de deux hommes sur la machine, et le chauffeur peut servir pour manœuvrer les freins non seulement de la machine, mais encore du fourgon si le frein de celui-ci est placé à l'avant contre la plate-forme de la machine. Il y aura un garde-frein à l'arrière du train, de sorte que trois hommes suffiront. Les freins continus ne sont pas nécessaires, à moins qu'on ait des wagons de marchandises dans le train, mais on peut munir ces véhicules de freins à levier du système Exter et les manœuvrer depuis la machine avec une corde.

On évitera les dangers d'incendie avec des pare-étincelles et des cendriers fermés. Ce qui effraye surtout les chevaux, c'est la vue d'une machine marchant toute seule avec des mécanismes à mouvement rapide et des bouffées violentes et saccadées de vapeur. On peut y remédier en grande partie, sinon entièrement, en cachant le mécanisme, en mettant un réservoir dans l'échappement et faisant passer la vapeur des purgeurs et des soupapes de sûreté dans un condenseur, et le trop-plein de l'injecteur dans les caisses à eau.

Les machines peuvent ne peser que 440 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe en les supposant établies sur le type Kranss, la surface de grille et la capacité des caisses à eau étant proportionnelles à la largeur de la voie. On admettra une production de vapeur, à la pression de 10 kilogrammes, de 25 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe et par heure; l'admission sur les rampes les plus fortes ne dépassera pas 4 dixièmes de la course, ce qui donne une pression moyenne de 6 kilogrammes et un travail de 31,000 kilogrammètres par kilogramme de vapeur. Le coefficient d'adhérence avec l'usage du sable sera compté à 0,15 et si on admet que le poids peut tomber à 11 pour 100 de moins que le poids avec les approvisionnements complets, on supposera l'effort de traction à 0,133 du poids maximum. Avec la voie normale, le diamètre des roues sera de 1 mètre, le même que celui des wagons, ce qui pour 30 kilomètres à l'heure donne 2.8 tours par seconde. Avec les voies réduites, la vitesse ne dépassera pas 20 à 25 kilomètres et le diamètre des roues pourra descendre à 0^m,60 et 0^m,80. La longueur de la course du piston sera la moitié du diamètre des roues. Le diamètre des cylindres sera calculé par la relation

$$d^2 = 1.1 \times \frac{\text{Effort de traction}}{3.4},$$

0,11 étant le coefficient de résistance propre du mécanisme d'après l'évaluation de Koch. On donnera à la surface de grille la plus grande dimension possible, 1/50 de la surface de chauffe pour la voie normale et 1/60 pour la voie de un mètre. Les caisses à eau porteront 3,500 litres et les soutes à charbon 30 décimètres cubes par tonne de poids de la machine. Le tableau ci-dessous résume les dimensions principales pour les trois largeurs de voie considérées.

TABLEAU I.

VOIE.	NORMALE.		1m.00		0m.75	
Nombre de roues.........	4	6	4	6	4	6
Poids avec approvisionnements complets.........	18t	27	15	22.5	7.5	11.3
Surface de chauffe........	40	60	33	50	16.5	25
Surface de grille..........	0.70	1.20	0.56	0.84	0.28	0.42
Pression................	10	10	10	10	10	10
Diamètre des roues.......	0m.98	0.98	0.80	0.80	0.60	0.60
Diamètre des cylindres.....	0.28	0.34	0.25	0.31	0.18	0.22
Course des pistons........	0.50	0.50	0.40	0.40	0.30	0.30
Capacité des caisses à eau...	2.200	3 200	1.650	2.500	0.750	1.100
Capacité des soutes à charbon	0.540	0.770	0.460	0.700	0.230	0.350
Écartement des essieux.....	2.50	3.00	2.00	2.50	1.60	2.00
Effort de traction net......	2400	3600	2000	3000	1000	1500

Les machines développeront une puissance effective d'environ 6,3 chevaux-vapeur par tonne de poids, ce qui correspond à près de 160 kilogrammes par cheval. L'effort de traction, résistances propres comprises, sera de 145 kilogrammes par tonne de poids si on suppose que la vitesse correspondante à l'effort maximum est de 11,200 mètres à l'heure, ce sera la vitesse sur la rampe maxima.

Dans cette hypothèse, les charges traînées derrière la machine sur les diverses rampes sont données dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU II.

VOIE.	POIDS DE machine	EFFORT DE traction	Poids maximum du train sur des rampes de $\frac{1}{200}$	$\frac{1}{150}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{80}$	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{20}$
Normale....	18.0	2400	320	255	180	146	110	91	71	50	39	28
	27.0	3600	475	385	270	220	166	136	116	75	59	42
1 mètre.....	15.0	2000	265	213	150	122	92	75	59	42	33	24
	22.5	3000	400	320	225	183	128	114	89	63	49	35
0m.75.......	7.5	1000	132	107	75	61	46	38	30	21	16	12
	11.3	1500	200	160	113	92	70	57	45	31	25	18

Les dépenses de combustible et d'entretien seront considérablement réduites si on a soin de proportionner les vitesses sur les diverses rampes au-dessous de la rampe maxima, de manière que la production de vapeur ne dépasse jamais ce qu'on a supposé pour cette rampe. Si celle-ci dépasse 10 millièmes, la vaporisation ne variera pas sensiblement avec les inclinai-

sons et les vitesses; si elle est inférieure à 10 millièmes, la vaporisation diminuera sur les rampes plus faibles et la vitesse devra être limitée à 30 kilomètres à l'heure par exemple.

La consommation d'eau sera supposée de 30 litres par mètre carré de surface de chauffe et par heure, soit 0,075 du poids de la machine. Le poids total de l'eau dans les caisses étant de 0,1 du poids de la machine, si on réserve un quart pour l'imprévu, on trouve que les prises d'eau devront être placées à une heure de distance les unes des autres. Mais on suppose, dans ce raisonnement, que la machine travaille toujours au maximum et, si on tient compte de ce fait et d'autres, on voit qu'on peut doubler la distance des prises d'eau sans inconvénient. Ces prises d'eau seront des plus simples; il suffira d'un puits d'où l'eau sera élevée par un éjecteur ou un pulsomètre alimenté de vapeur par la chaudière même de la locomotive. Ce n'est qu'aux dépôts qu'on mettra un réservoir qui pourra être rempli au moyen de la vapeur contenue dans la chaudière quand la machine rentre au dépôt. Si on admet qu'un kilogramme de combustible vaporise 8 kilogrammes d'eau et que les soutes contiennent le quart des caisses à eau, on voit que la distance des prises de combustible devra être le double de celle des prises d'eau. (*A suivre*).

Les chemins de fer de l'Inde. — La longueur totale des chemins de fer en exploitation dans l'Inde en 1879 était de 13,864 kilomètres dont 9,777 appartenaient à des Compagnies, 3,804 à l'État et 283 à des États indigènes.

La recette brute a été pendant la même année de 134 millions de francs.

Le nombre des voyageurs transportés a été de 43,144,468 dont 0,5 pour cent en première classe, 2,05 en seconde et 97,45 dans les classes inférieures.

Les dépenses d'exploitation se sont élevées à 144 millions de francs en nombre rond, dépassant par conséquent les recettes brutes.

Le parcours kilométrique total a été de 46,555,000 kilomètres. La consommation de combustible a été de 512,858 tonnes ayant coûté 16 1/2 millions de francs.

Le matériel roulant se composait de 1,850 locomotives, 4,294 voitures à voyageurs et 34,856 wagons à marchandises et à bestiaux; le personnel comprenait 148,720 employés dont 95,12 pour cent indigènes, 2,54 Anglais nés dans l'Inde et 2,34 Européens.

Il y a eu en 1879 48 morts et 146 blessés par suite d'accidents, dont 18 morts et 67 blessés pour cause d'imprudence de leur part.

Matériel roulant des chemins de fer américains. — On évalue à 16,445 le nombre des locomotives en service au 1er janvier 1879 sur les chemins de fer des États-Unis, ce qui représente une valeur de 822 millions de francs. A la même date le nombre des vagons s'élevait à

300,000 et leur valeur à 3 milliards de francs, ce qui fait pour le matériel roulant ensemble une valeur de 3,822,000,000 de francs.

Si on ajoute qu'un dixième du nombre des locomotives et wagons en service à cette date avaient été reconstruits cinq fois en moyenne depuis 1830, ce qui constitue une dépense d'au moins 1,900 millions de francs, on peut dire que le matériel roulant des chemins de fer des États-Unis représente une dépense de plus de 5 1/2 milliards de francs, soit deux fois la valeur de la marine marchande de la Grande-Bretagne. Mais les constructeurs Américains ne se contentent pas de fournir aux besoins de leurs chemins de fer, ils vont encore faire concurrence aux Anglais dans leurs propres colonies et à l'étranger. On sait qu'une maison américaine vient de faire une livraison de locomotives en Espagne. (*Engineering*).

Consolidation du grand pont suspendu de Fribourg. — Le *Bulletin de la société Vaudoise des ingénieurs et architectes* contient une intéressante notice de M. Gremaud, inspecteur des ponts et chaussées du canton de Fribourg sur la consolidation du grand pont suspendu de Fribourg.

On sait que ce pont construit en 1835 par l'ingénieur Chaley traverse d'une seule portée la Sarine à 51 mètres au-dessus de l'étiage.

La longueur du pont entre les portiques d'une hauteur de 20^{m},20 est de 265^{m},26. De chaque côté du pont se trouvent deux câbles de suspension ayant une corde de 273 mètres et une flèche de 19^{m},28. Chaque câble de 13 à 14 centimètres de diamètre est formé de 1,056 fils de fer n° 18, dont le diamètre est de 3,08 millimètres, la section de 7,44 millimètres carrés, le poids par mètre courant de 57 grammes et la résistance de 82 kilogrammes par millimètre carré. La section totale des 4,224 fils est de 31,426 millimètres carrés. La longueur du fil employé est de 1,791 kilomètres et le poids total de 102 tonnes.

L'inclinaison sur l'horizon des tangentes aux points d'appui est de 17 degrés et celle des câbles de retenue de 20 degrés.

Les câbles d'amarre sont noyés dans un massif de maçonnerie disposé en plusieurs séries de voûtes renversées et arrêtés contre ce massif au moyen de clavettes. Les puits d'amarrage ont 14^{m},20 de profondeur.

A la suite de divers accidents arrivés à des ponts suspendus, on renforça en 1852 les amarres par des câbles additionnels aussi forts que les anciens et qu'on enroula autour du massif de maçonnerie formé des puits de chaque côté réunis par une galerie transversale. De cette manière, les nouveaux câbles sont visibles et peuvent être examinés sur toute leur étendue. Malheureusement ces câbles additionnels n'ont pas reçu une tension suffisante et ils ne remplissent pas complètement leur but.

Il y a de chaque côté 163 tiges de suspension, chacune formée de 30 fils n° 17. Les plus longues ont 16^{m},60, les plus courtes 0^{m},18. Elles sont espacées de 1^{m},50 et forment transversalement un angle de 3°10′ avec la verticale pour donner de la rigidité à l'ensemble. La largeur totale du tablier est de 6^{m},46 dont 4^{m},70 de chaussée et 0^{m},88 pour chaque trottoir; la sur-

face du tablier qui a $246^m,26$ est donc de 1,590 mètres carrés. Il est supporté par des poutrelles de $0^m,40$ de hauteur au milieu et $0^m,30$ aux extrémités et de $0^m,10$ de largeur accolées deux à deux; le platelage longitudinal a 90 millimètres d'épaisseur et le plancher transversal supérieur 50 millimètres. Le poids du tablier est d'après Chaley de 300 tonnes. La surcharge est comptée à 100 kilogrammes par mètre carré, soit en nombre rond 160 tonnes. La tension maxima des quatre câbles est de 846 tonnes.

M. Chaley a fait travailler le fil de fer à 17,5 kilogrammes avec la charge permanente et à 26,9 kilogrammes par millimètre carré avec la surcharge de 100 kilogrammes par mètre carré de tablier. Le fil travaille donc au tiers de la charge de rupture.

La dépense d'établissement a été de 600,000 francs, ce qui fait 2,136 francs par mètre courant de longueur et 377 francs par mètre carré de tablier.

Lorsqu'on a dû récemment se préoccuper de consolider de nouveau le pont, on a donné la préférence au système qui consiste à mettre des câbles additionnels au-dessus des anciens; on a employé un câble unique de chaque côté.

On a admis une surcharge de 200 kilogrammes par mètre carré de tablier, on a supposé que la charge se répartirait également entre les deux systèmes de câbles et on s'est imposé la limite de 18 kilogrammes par millimètre carré pour le travail du fil de fer.

Les données étaient donc :

Poids permanent.	180 t.
Surcharge à 200 kilog.	318
Tension maxima des deux nouveaux câbles.	724
Tension maxima des 4 anciens câbles.	566

Les nouveaux câbles ont été faits chacun avec 2,238 fils de fer n° 18 de 3,4 millimètres de diamètre, 9,079 millimètres carrés de section, un poids de 70,82 grammes par mètre et une résistance absolue de 75 kilogrammes par millimètre carré, résistance qui dans des expériences faites à Bienne chez les constructeurs s'est élevée au maximum à 85 kilogrammes.

Le diamètre des nouveaux câbles est de 19 centimètres et leur poids de 123 tonnes, non compris les ligatures des tiges de suspension.

On a remplacé les câbles d'amarrage par des chaînes en fer forgé au nombre de 8, deux pour chaque câble, formées de neuf et dix chaînons de 120 sur 18, le fer travaillant à 9^k3.

Chaque chaîne est soumise à une tension de 181 tonnes. L'ancrage se fait contre 4 fers à double T de $3^m,50$ de longueur et de 500 sur 180, s'appuyant contre le roc par l'intermédiaire de plaques en fonte. L'extrémité des chaînes est arrêtée par des clavettes de réglage de 75 sur 75.

Les chaînons sont réunis par des axes de jonction de 8 centimètres de diamètre. Les chaînes pèsent 41 tonnes et les fers et fontes de l'ancrage 26 tonnes.

Aux points d'inflexion des chaînes à l'entrée des puits, les chaînes passent sur des sabots en fonte du poids de 1000 kilog. chaque, lesquels reposent sur des blocs de pierre de Saint-Triphon; les chaînons correspondants sont forgés avec la courbure des sabots.

Sur les portiques il y a des sabots en fonte pesant 900 kilog. chacun portant sur cinq fers à double T disposés en secteurs oscillants et reliés entre eux par des tirants en fer.

L'assemblage des chaînes avec le câble se fait au moyen d'une croupière à triple gorge autour de laquelle s'enroulent les fils du câble divisé, à cet endroit, en 12 brins, soit 6 pour chaque chaîne.

La croupière s'appuie contre les clavettes des chaînes d'une manière analogue à celle des fers à double T dans l'ancrage.

Les tiges de suspension sont fixées alternativement aux anciens et aux nouveaux câbles pour répartir les charges entre les deux systèmes.

Pour le réglage on avait admis que les nouveaux câbles seraient posés parallèlement à 50 centimètres au-dessus des anciens. Mais comme les nouveaux câbles devaient s'abaisser après la suspension du tablier et les anciens, déchargés de la moitié du poids, se relever, il a fallu donner au milieu un écartement tel entre les deux systèmes de câbles, qu'après la répartition du poids l'écartement se rapprochât de 50 centimètres. Il a été admis un écartement de $1^m,20$ et, selon les prévisions actuelles, l'écartement des deux câbles après le réglage sera entre 45 et 50 centimètres.

On peut bien calculer l'abaissement des nouveaux câbles, mais le relèvement des anciens échappe au calcul, car on ne sait pas de combien ils ont perdu de leur élasticité.

Les travaux de consolidation ont donné lieu aux dépenses ci-dessous :

1° Câbles et chaînes fournis et posés à forfait par MM. Chappuis et Cie à Nidau pour un prix de.	121,000 fr.
2° Allongement et réglage des tiges à forfait par les mêmes	3,000
3° Excavation de puits, élargissement des galeries, démolition de maçonneries, en régie	12,220
Imprévu et travaux accessoires	3,780
Dépense totale.	140,000 fr.

Soit 88 francs, par mètre carré de tablier.

L'essai du pont consolidé a eu lieu le 19 juillet 1881 en présence d'une commission technique présidée par M. Culmann, professeur à l'École polytechnique fédérale de Zurich.

La charge d'essai a été composée d'un train de voitures chargées et de fûts remplis d'eau par le moyen des conduites de la ville.

Cette charge était constituée comme suit :

32 voitures attelées.	$113^t,550$
Fûts remplis d'eau	31,900
Environ 200 personnes sur le pont	15
Total	$160^t,450$

Ce qui correspond à une surcharge de 100 kilog. par mètre carré de tablier, c'est-à-dire au pont couvert de monde.

On a mesuré avec soin les déformations causées par la surcharge dans diverses phases de la marche de celle-ci, savoir :

1° Lors de l'arrivée de la colonne des voitures au premier quart de la longueur totale, cas dans lequel la déformation apparente a été la plus sensible;

2° Lorsque le train est arrivé au milieu et que par conséquent c'était la moitié la plus voisine de la ville qui se trouvait seule en charge ;

3° A l'arrivée de la colonne aux trois quarts du pont;

4° Enfin le pont étant entièrement chargé.

La plus grande dépression au milieu du pont pendant la charge a été de 0m,32

Après déchargement, le tablier s'est relevé de. . . . . 0 , 22

La dépression permanente est donc de. 0m,10

Les débuts du procédé Bessemer. — Il y a eu le 13 août dernier un quart de siècle que Sir Henry Bessemer a donné pour la première fois connaissance de sa grande invention par un mémoire lu à la réunion de l'Association Britannique, à Cheltenham, le 13 août 1856.

Les vicissitudes par lesquelles a passé l'invention avant son succès complet et général sont assez singulières pour que nous pensions intéressant de résumer brièvement un article de l'*Engineering* sur ce sujet.

L'insuccès d'un canon destiné à lancer les projectiles allongés inventés par M. Bessemer engagea celui-ci à entreprendre une série d'essais en vue d'améliorer la qualité de la fonte dont il se servait.

Il poursuivit ces essais pendant deux ans avec plus ou moins de succès, mais toutefois ses résultats lui firent penser qu'on pouvait aller plus loin et transformer la fonte en fer malléable dans son état liquide et obtenir un métal propre aux usages de la fonte et à ceux du fer malléable.

M. Bessemer poursuivit cette idée et, après avoir dépensé beaucoup de temps et d'argent, il réussit à produire du fer malléable liquide qui fut coulé en lingots et laminé. Sur l'invitation de M. G. Rennie, président de la section de mécanique de l'Association Britannique, M. Bessemer lut devant l'Association un Mémoire désormais historique sur la *Fabrication du fer malléable sans combustible.*

Le titre semblait peu propre à faire prendre la chose au sérieux et bien des assistants se préparaient à rire au dépens de l'auteur d'une proposition aussi absurde en apparence; mais la lecture du mémoire changea leurs dispositions et l'enthousiasme fut général, si bien qu'un maître de forges qui s'était montré un des plus incrédules offrit à M. Bessemer de mettre ses établissements à sa disposition pour tous les essais qu'il désirerait faire; l'enthousiasme de M. James Nasmyth n'était pas moindre à la vue des échantillons présentés.

Le mémoire qui avait reçu un accueil aussi favorable parut le lendemain

matin *in extenso* dans le *Times*, et en quelques jours fit le tour de la presse. Plusieurs maîtres de forges coururent à Londres pour voir M. Bessemer, dans la crainte que le procédé ne fût concédé exclusivement, et on peut citer le fait que, trois jours seulement après la lecture du mémoire, une grande maison fit une offre ferme de 1,250,000 francs pour la patente anglaise, offre qui fut rejetée. L'impression générale, bien que l'affaire ne fut encore qu'à l'état d'expérience, était si favorable que, un mois après la publication du *Times*, M. Bessemer avait déjà reçu 700,000 francs pour concession de licences dans la Grande-Bretagne seulement.

On fit à la hâte des essais dans diverses forges et tous échouèrent complètement.

Alors ce fut un autre cri et un autre mouvement général de la presse, mais cette fois pour dire que l'invention n'était que le rêve d'un enthousiaste et un journal trouva l'heureuse comparaison avec un brillant météore s'élevant de l'horizon métallurgique, et après avoir ébloui un instant les regards, s'éteignant instantanément sans laisser de traces.

Les savants firent des théories pour prouver que l'affaire ne pouvait pas marcher et les maîtres de forges firent chorus pour se moquer de ceux qui avaient été assez naïfs pour croire au procédé. On savait bien qu'on aurait beau brûler tout le charbon du monde, qu'on n'arriverait pas à fondre industriellement du fer malléable dans un temps quelconque; comment pouvait-on supposer qu'on le fondrait en vingt minutes sans combustible autre que les impuretés de la fonte?

La réprobation fut si générale que l'Association Britannique arriva à la conclusion qu'il ne fallait pas encourager des erreurs de ce genre par leur publication dans ses transactions et, malgré l'enthousiasme avec lequel il avait eté accueilli lors de sa lecture et les preuves matérielles qui l'avaient appuyé, le mémoire de M. Bessemer ne fut pas même mentionné dans les travaux de l'Association.

Que faisait M. Bessemer en présence de cette condamnation universelle?

Il avait réparé ses pertes par l'encaissement des 700,000 francs qui lui avaient été offerts volontairement pour des licences par des personnes qui avaient eu confiance dans l'affaire et qui auraient retiré d'énormes bénéfices en cas de succès.

Il aurait pu se retirer du champ de bataille et accepter le jugement prononcé sur son invention. Il n'en eut pas un instant l'idée parce qu'il savait bien que les raisons données de son insuccès étaient inexactes et que cet insuccès ne touchait en rien au principe de l'invention.

Au lieu d'abandonner l'affaire ou de perdre son temps à discuter avec ses adversaires, il se mit à l'œuvre pour résoudre les difficultés de détails.

La tâche n'était pas aisée et les mois s'écoulaient; les fours, les machines, les appareils étaient construits, puis mis au rebut et remplacés par d'autres; des milliers de livres sterling furent ainsi dépensés en essais, et deux ans et demi se passèrent en expériences. Mais M. Bessemer ne perdit ja-

mais courage et n'écouta pas ses amis qui lui conseillaient toujours d'en rester là. Toutefois il faisait des progrès, il avait remédié à l'usure rapide des appareils par suite de la température excessive; il avait facilité les opérations par l'installation du convertisseur sur des tourillons, perfectionné le coulage du métal liquide dans les lingotières et à la fin de la troisième année, le succès était complet et on pouvait obtenir de l'acier de qualité excellente avec de la fonte brute en quinze minutes, sans main-d'œuvre, manipulation, ni emploi de combustible, les résultats confirmant en entier les vues émises par M. Bessemer dans son mémoire lu à Cheltenham et donnant tort aux considérations émises à la fois par les savants et les praticiens pour démontrer l'inanité du procédé.

Après avoir surmonté toutes les difficultés, M. Bessemer lut son second mémoire sur le fer et l'acier devant l'Institution of Civil Engineers, le 24 mai 1859; il l'appuya par la présentation de spécimens magnifiques, ce qui n'empêcha pas la valeur du procédé d'être fortement contestée dans la discussion. Les procès-verbaux de l'Institution sont là pour rappeler que quelques-uns des membres présents se signalèrent par la vivacité de leurs critiques.

Une autre opposition très puissante se manifesta parmi les fabricants d'acier; M. Bessemer échoua dans toutes ses tentatives pour amener les fabricants de Sheffield à essayer son procédé; voyant qu'il ne pouvait vaincre les idées préconçues, il prit la détermination d'établir une aciérie de son système dans la ville même de Sheffield pour attaquer les autres fabricants sur leur propre marché.

Ce fut ainsi qu'il parvint à introduire dans l'industrie le procédé qui porte son nom et qui a causé une véritable et complète révolution dans la métallurgie du fer du monde entier. Dans la Grande-Bretagne seule, on a produit en 1880 par le procédé Bessemer seul plus de vingt fois la production totale d'acier du pays avant l'invention.

Maintenant que la bataille est gagnée, personne ne conteste à Sir Henry Bessemer le droit de jouir des fruits matériels ou des honneurs que lui ont valu son intelligence et sa persévérance; il est permis cependant de regretter qu'un corps aussi éminent que l'Association Britannique ait cru devoir écouter des voix ignorantes ou jalouses et rejeter de ses transactions, après l'accueil enthousiaste qu'il avait reçu à Cheltenham, le mémoire qui a été le point de départ d'une des plus belles découvertes du siècle.

Il y a là une leçon qui ne doit pas être perdue.

On trouvera dans les mémoires et compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils de 1860, page 369, la traduction faite par M. Chobrzynski du mémoire de M. Bessemer lu à l'Institution of civil Engineers en 1859 et de la discussion qui a suivi sa lecture, discussion à laquelle il a été fait allusion ci-dessus.

Fabrication de la soude à l'ammoniaque. — Deux grandes fabrications de la chimie industrielle sont en train d'être profondément

modifiées, ce sont la fabrication de la soude et celle du chlorure de chaux, la première par les procédés à l'ammoniaque, la seconde par les procédés qui suppriment à peu près complètement la dépense de manganèse et dont la plus avancé jusqu'ici est le procédé Weldon.

Nous trouvons dans les *Bulletins de la Société scientifique industrielle de Marseille* un intéressant article sur la fabrication de la soude à l'ammoniaque par M. A. Jullien, que nous résumons ci-dessous.

Jusqu'en 1870 le procédé classique de Leblanc était exclusivement employé et on peut dire qu'encore aujourd'hui il fournit les neuf dixièmes de la soude livrée au commerce.

C'est à MM. Schlœsing et Rolland que revient l'honneur de l'application industrielle du procédé à l'ammoniaque, déjà usité aujourd'hui sur une assez grande échelle.

Le principe de ce procédé est la réaction du bicarbonate d'ammoniaque sur le chlorure de sodium; il se précipite du bicarbonate de soude peu soluble à froid, et il reste du chlorhydrate d'ammoniaque en dissolution dans l'eau. On a la même réaction en saturant par un excès d'acide carbonique une dissolution de sel marin, renfermant une proportion convenable d'ammoniaque caustique.

Le bicarbonate de soude précipité est lavé, filtré, séché et calciné à une température de 150°; il se transforme en carbonate de soude, et l'acide carbonique qui se dégage rentre dans la fabrication.

Quant au chlorhydrate d'ammoniaque produit, il est décomposé par de la chaux, qui se transforme en chlorure de calcium et l'ammoniaque caustique régénérée rentre également dans la fabrication.

Comme il ne se perd que des quantités insignifiantes d'ammoniaque, on voit qu'on ne consomme que du sel marin, du combustible et du calcaire, pour produire du sel de soude; on n'obtient pas d'acide chlorhydrique, mais on ne dépense pas d'acide sulfurique représenté par des pyrites et du nitrate de soude.

L'avantage du procédé à l'ammoniaque dépend de la localité suivant les prix de ces matières et M. Jullien fait la comparaison dans deux cas : 1° celui d'une usine placée près d'un salin et 2° celui d'une usine située près des pyrites et de la houille, mais loin du sel. Dans le premier cas, le procédé à l'ammoniaque présente sur les matières premières (l'installation, les frais généraux et la main-d'œuvre étant supposés les mêmes dans les deux cas) une économie de 61 fr. 40 par tonne de sel de soude. Dans le deuxième cas l'avantage n'est plus que de 30 francs et la production de l'acide chlorhydrique dans le procédé Leblanc peut fort bien compenser cette différence de 30 francs sur les matières premières.

Le développement du procédé à l'ammoniaque a été entravé par des difficultés d'appareils et par des difficultés commerciales provenant des habitudes du commerce et de la routine des consommateurs.

Pour ce qui est de la fabrication proprement dite, on peut citer comme obstacles principaux :

1° L'action énergique de l'ammoniaque en contact avec l'acide carbonique qui attaque tous les métaux mis en contact avec elle.

2° La formation d'incrustations très dures de carbonate d'ammoniaque et de bicarbonate de soude obstruant les appareils.

3° Les difficultés de séparation du bicarbonate des eaux-mères.

Le procédé à l'ammoniaque est actuellement exploité au moyen de divers appareils dans diverses fabriques. L'auteur décrit la méthode employée à l'usine du Griffon à Sorgues (Vaucluse); elle comprend les opérations suivantes :

1° Préparation de la saumure;
2° Carbonatation;
3° Séparation et pressage du bicarbonate;
4° Décarbonatation;
5° Régénération de l'ammoniaque.

La note décrit en détail les appareils; nous citerons seulement les roues à augets en bois employées pour effectuer le contact de l'acide carbonique et du liquide, et les presses hydrauliques servant à la séparation et au pressage du bicarbonate de soude; chaque presse fournit par heure trois gâteaux de bicarbonate de 60 kilogrammes chacun. Deux presses conduites par le même ouvrier donnent donc 120 kilogrammes, soit 1,500 kilogrammes par 12 heures.

La production moyenne par jour à l'usine de Sorgues est de 12 tonnes, on emploie une force de 95 chevaux se répartissant comme suit :

Carbonateurs	50	chevaux.
Pompes à gaz	15	—
Presses	10	—
Pompes à eau, etc.	10	—
Transmissions, pertes, etc.	10	—

Le sel de soude titre en moyenne 92 degrés, il est très blanc et assez pur. Les pertes en ammoniaque liquide en marche régulière ne dépassent pas 4 kilogrammes par 100 kilogrammes de sel de soude obtenus et elles tiennent en partie à des imperfections dans les appareils et en partie à des négligences de conduite. En résumé le procédé à l'ammoniaque s'est montré pratique par sa réussite dans l'usine de Sorgues et dans les usines de M. Solway où il est appliqué avec des méthodes différentes.

Fabrication du gaz à l'huile. — M. R. Drescher de Chemnitz a inventé un appareil de fabrication du gaz à l'huile qui est décrit dans le *Dingler's Polytechnisches Journal*. Cet appareil comporte des cornues en fonte horizontales dont la section a une forme spéciale et dans lesquelles se fait la décomposition de l'huile qui est introduite en filets minces par des syphons sur des cloisons longitudinales venues de fonte avec les cornues.

Ce système a été monté dans une usine de Cologne. Le gaz de la ville de Cologne donne avec un brûleur Argand 19.7 bougies avec une consommation de 170 litres à l'heure, soit 11.6 bougies pour 100 litres. Le gaz à

l'huile employé dans un brûleur Argand de Sugg a donné 14.3 bougies pour une dépense à l'heure de 37 litres, ce qui fait 38.6 bougies pour 100 litres, soit un pouvoir éclairant de 3.33 par rapport à l'autre. Ce gaz contient quatre dix-millièmes de soufre, c'est-à-dire pas plus que le gaz de houille bien épuré.

Si 100 kilogrammes d'huile coûtent 18 fr. 75 et produisent 50 mètres cubes de gaz, en estimant les appareils à 6,250 francs et l'immeuble à 5,000, le prix du mètre cube pour une production annuelle de 12,000 mètres cubes s'établit comme suit :

Huile	0f.,375
Chauffage	0 063
Main-d'œuvre	0 075
Entretien des appareils	0 062
Intérêts sur 11,250 francs	0 050
Amortissement sur 6,250	0 025
Assurance, etc.	0 025
Total	0 675

Ce qui donne pour l'équivalent du gaz de houille $\frac{0,675}{3.33}$ un prix de 0f.20 par mètre cube.

M. N. Küchler donne les chiffres suivants pour une production de gaz de 72,534 mètres cubes avec de l'huile coûtant 13 fr. 75 les 100 kilogrammes, d'après l'expérience acquise à Weissenfels.

	Total.	Par mètre cube.
179,352 kil. d'huile de paraffine et de créosote	24,558f.	0,338
690 tonnes de lignite pour le chauffage	5,382	0,075
Réparations, entretien, etc	5,000	0,068
Intérêts	8,460	0,116
Amortissement	4,050	0,056
Main-d'œuvre	4,330	0,060
	51,780	0,713

Ce prix est un peu supérieur au précédent à cause de l'importance plus considérable de la main-d'œuvre, de l'amortissement et du chauffage qui font plus que compenser le prix moindre de l'huile et de la main-d'œuvre.

L'association des Ingénieurs allemands. — Cette Société dont le titre est *Der Verein Deutscher Ingenieure* a tenu ces jours-ci une assemblée générale à Stuttgart pour la célébration du vingt-cinquième anniversaire de sa fondation. Elle a été fondée le 12 mai 1056 à Alexisbad à l'occasion du dixième anniversaire d'une association d'étudiants du *Gewerbe Institut* de Berlin qui portait le nom de Hütte (l'usine). Les débuts de la nouvelle Société furent très modestes; il n'y avait à la première réu-

nion que 23 membres présents, plus 14 qui, n'ayant pu venir, avaient néanmoins envoyé leur adhésion. Dès le début on adopta le système des groupes locaux, ce qui a probablement considérablement contribué au succès de la Société. Elle compte actuellement 4,000 membres; le quatre millième ayant par une singulière coïncidence été admis précisément le 12 mai dernier, jour anniversaire de la fondation. Le nombre des subdivisions locales est de 27 s'étendant sur toute l'Allemagne, à l'exception de la Saxe qui a conservé une Société d'ingénieurs indépendants. L'association des ingénieurs allemands a rendu de très grands services à l'industrie et à l'art de l'ingénieur, notamment par la publication de ses excellents bulletins de travaux le *Wochenschrift* (hebdomadaire) et le *Zeitschrift* (mensuel. Le but principal de l'assemblée générale dont nous venons de parler est d'apporter quelques modifications aux statuts de l'association, modifications qui donneront sans doute à la Société une nouvelle vitalité et en accroîtront encore le développement déjà prodigieux.

Le secrétaire général de l'Association, M. R. Ziebarth a publié à cette occasion une notice dont sont extraits ces renseignements sommaires et où on trouvera des détails du plus grand intérêt.

COMPTES RENDUS

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Séance du 11 Juillet 1881.

Note de M. Ledieu sur une étude thermo-dynamique expérimentale sur les machines à vapeur.

Les expériences des dix dernières années, exécutées d'après la thermodynamique expérimentale, montrent, dans la mesure du possible, la véritable interprétation à donner aux diverses particularités du fonctionnement des machines à vapeur.

On en déduit d'abord que le cycle *pratique* de rendement calorifique maximum diffère notablement du cycle *théorique* de Carnot, mais seulement dans la phase afférente à la détente, dont en particulier, l'étendue doit être considérablement diminuée. Lesdites expériences font de plus ressortir les erreurs considérables commises en faisant usage des formules

employées jusqu'à ce jour pour la *prévision* du diagramme de travail et de la dépense de vapeur. Elles consacrent, dès lors, pour cette prévision, la méthode par comparaison avec des machines similaires déjà construites et soumises à des essais soignés.

Toutefois, l'interprétation susmentionnée permet d'établir au besoin entre la thermo-dynamique pure et la thermo-dynamique expérimentale une liaison consistant à introduire dans les formules voulues des termes à valeur variable avec le type et la grandeur de chaque machine. Ces termes sont destinés à tenir compte des indications de la pratique, de la même manière que les coefficients de frottement, de raideur des cordes, etc., ont été combinés avec les relations de la dynamique rationnelle pour constituer les formules de la mécanique appliquée.

Séance du 1er Août 1881.

Sur l'application des moteurs électriques et des piles secondaires de M. Planté à la direction des aérostats, par M. G. Tissandier.

Cette note contient des renseignements intéressants sur la puissance développée par ces appareils.

M. Trouvé a construit une petite machine dynamo-électrique, genre Siemens, pesant 220 grammes, dont l'arbre transmet le mouvement à une hélice de $0^m,40$ de diamètre. La pile secondaire qui actionne le moteur pèse $1^k{\cdot}300$. L'hélice fait 6 1/2 tours par seconde et donne à un petit aérostat de forme allongée du volume de 2,200 litres et gonflé d'hydrogène pur qui lui donne un excédent de force ascensionnelle de 2 kilogrammes une vitesse de 1 mètre par seconde pendant plus de 40 minutes. Avec deux piles secondaires pesant 500 grammes chacune et montées en tension, la machine agissant sur une hélice de $0^m,60$ de diamètre, la vitesse est élevée à deux mètres par seconde, mais le temps de marche n'est que de 10 minutes. Avec trois éléments, la vitesse atteint 2 mètres.

M. Tissandier a mesuré le travail moteur au moyen de l'élévation d'un poids. Le moteur pesant 220 grammes produit 90 grammètres avec un élément et 5 tours par seconde. Avec deux éléments en tension et 12 tours par seconde, le travail s'élève à 420 grammètres; avec trois éléments on arrive à 1 kilogrammètre.

Avec les deux éléments en tension, si la vitesse s'abaisse à 5 ou 6 tours par seconde, le travail n'est plus que de 278 grammètres; si la vitesse est supérieure à celle qui correspond au maximum et atteint, par exemple, 14 tours par seconde, le travail descend à 375 grammètres. Ces expériences montrent que, conformément à la théorie, les moteurs électriques attelés à un générateur donnent un travail maximum qui correspond à une certaine vitesse.

Dans les conditions actuelles, les moteurs dynamo-électriques peuvent donner 6 chevaux-vapeur sous un poids de 300 kilogrammes environ, avec

900 kilogrammes d'éléments secondaires. Cette charge pourrait être enlevée par un aérostat allongé de 3,000 mètres cubes gonflé à l'hydrogène; il resterait une force de 1,000 kilogrammes pour les voyageurs et le lest, et le moteur pourrait assurer à l'aérostat une vitesse en air calme de 20 à 25 kilomètres à l'heure, pendant un temps limité il est vrai, mais l'appareil pourrait servir à des expériences de démonstration tout à fait décisives. On pourrait obtenir des résultats encore plus favorables avec un moteur et des piles construits dans des conditions spéciales de légèreté.

Séance du 8 *Août* 1881.

Note de M. Ancelin, présentée par M. Dumas, sur le chauffage des wagons, voitures, etc., au moyen de l'acétate de soude cristallisé.

L'acétate de soude contient environ quatre fois autant de chaleur utile qu'un même volume d'eau; il éprouve la fusion aqueuse vers 59°; la chaleur de fusion nécessaire à ce changement d'état est d'environ 94 calories.

Une chaufferette de 11 litres contient environ 15 kilogrammes d'acétate de soude; en supposant la température initiale de 80°, elle dégagera :

Chaleur sensible de 80° à 60°.	225	calories.
Chaleur latente.	1,410	—
Chaleur sensible de 60° à 40°	96	—
Total.	1,731	—

La même chaufferette remplie d'eau dégagera de 80° à 40°, 440 calories; l'acétate donnera donc quatre fois autant de chaleur que l'eau.

La durée du chauffage est au moins quatre fois celle de l'eau, de sorte que les changements de chaufferettes pourraient n'avoir lieu que toutes les dix heures au lieu des deux heures et demie. Il en résulterait une économie des trois quarts de la main-d'œuvre et moins de dérangements pour les voyageurs. Mais il y a en outre économie notable de combustible, car pour des chaufferettes de 11 litres d'eau qui, retirées des wagons, se refroidissent rapidement à 10°, il faut pour les élever quatre fois à 90° 3,520 calories, tandis qu'une chaufferette contenant 11 kilogrammes d'acétate de soude refroidie à 10° et réchauffée à 90° n'exigera que 1,987 calories.

Le remplissage des chaufferettes se fait une fois pour toutes, en prenant quelques précautions simples, mais nécessaires, qui ont pour but d'éviter la surfusion.

Des essais se font sur divers chemins de fer tant en France qu'à l'étranger.

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

JUIN 1881.

Rapport de M. DE LABOULAYE sur la **fabrication des velours et peluches**, par M. LEPAGE.

On sait que les velours, les peluches de soie et de laine se fabriquent au moyen d'une chaîne spéciale qui s'enroule sur un fer et qui est ensuite coupée par un rabot. M. Lepage s'est proposé d'obtenir le velours par la coupe du fil de trame, ce qui donne la faculté d'employer des fils moins chers, de varier les couleurs, d'espacer à volonté les dessins veloutés et de permettre, par suite, la création de genres d'étoffes nouvelles.

C'est en employant de petits couteaux circulaires minces, qu'une pédale, dont le mouvement est relié au battant de la Jacquart, fait tourner à l'aide d'une corde et d'une poulie, qu'il coupe les boucles qui sont maintenues par des fils métalliques passant dans la partie inférieure du peigne et intervenant à volonté par l'action de la Jacquart.

Rapport de M. GUSTAVE ROY sur le livre de M. H. LEFÈVRE, intitulé : **Le change et la banque.**

Éloge historique de HENRI-VICTOR REGNAULT, par M. J.-B. DUMAS.

Sur les **filtres mécaniques** du système **Farquhar,** par M. HENRY CHAPMAN.

Cette note a paru dans les comptes rendus du numéro de mars 1881 des *Bulletins de la Société des Ingénieurs civils*, page 373.

ANNALES DES MINES.

2e *livraison de* 1881.

Recherches sur les **Eaux de la Savoie** par M. DELESSE, inspecteur général des mines.

Sur la méthode employée par d'Aubuisson en 1810 pour la mesure des bases géodésiques.

Extrait d'une lettre de M. Laussedat à M. le secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

Statistique de **l'industrie minérale** de la France; tableaux comparatifs de la production des combustibles minéraux, des fontes, fers et aciers, en 1879 et 1880.

Sur les procédés propres à déceler la **présence du grisou** dans l'atmosphère des mines par MM. Mallard et Le Chatelier, ingénieurs des mines.

Les procédés qu'on peut employer pour reconnaître la présence du grisou dans l'air sont :

1° Les procédés chimiques;
2° Les propriétés physiques du grisou;
3° Le mode d'inflammation des mélanges d'air et de grisou.

Après avoir constaté qu'aucun des appareils proposés fondés sur des procédés chimiques ou physiques n'est satisfaisant en pratique, les auteurs concluent qu'on peut reconnaître la présence du grisou dans l'atmosphère d'une mine et même évaluer sa proportion au moyen des indications fournies par la flamme d'une lampe de sûreté Davy ou préférablement Mueseler; cette dernière permet de constater avec quelque expérience et un peu de soin 3 pour 100 de grisou, ce qui paraît suffisant dans la pratique courante.

Le mémoire se termine par un tableau donnant les indications de l'apparence de la flamme depuis 1 pour 100 de grisou, où la flamme de la lampe commence à s'allonger légèrement, jusqu'à 7 pour 100, où la lampe Davy se remplit de flamme et où la lampe Mueseler s'éteint.

Éloge de Victor Regnault, ingénieur en chef des Mines, par M. J.-B. Dumas, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

Discours prononcés aux funérailles de M. Delesse, inspecteur général des mines.

Sur les propriétés optiques des **mélanges cristallins de substances isomorphes** et sur l'explication de la polarisation rotatoire, par M. E. Mallard, ingénieur en chef des mines.

Notice nécrologique sur M. Roche, ingénieur des mines, par M. Rolland, ingénieur des mines.

M. Roche a péri dans le massacre de la mission Flatters.

COMPTES RENDUS MENSUELS DES RÉUNIONS DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE, 4 JUIN 1881.

Communication de M. DELAY sur l'**Épuration des fontes**, par le procédé ROLLET.

Des essais ont été faits à l'Horme sur ce procédé; on a traité 240 tonnes de fonte. L'appareil employé se composait d'un cubilot de 0m,700 de diamètre et de 4 mètres de hauteur, garni sur 2/3 de la hauteur d'un revêtement basique et sur le restant supérieur d'une garniture siliceuse. Ce cubilot était alimenté par un ventilateur donnant une pression de 28 centimètres d'eau.

On introduisait froid le mélange suivant :

Fonte brute	1.060 kil.
Castine	100
Coke	170
Spath-fluor	25

pour avoir une tonne de fonte épurée.

La production a été de 1 500 kilogrammes à l'heure et on marchait jour et nuit.

En traitant un mélange de fonte blanche et de fonte truitée ordinaire de Pouzin, on a obtenu les résultats suivants :

	Avant l'opération.	Après l'opération.
Soufre	0.450	0.053
Silicium	1.000	0.590
Phosphore	0.300	0.264
Carbone combiné	2.240	2.440
Graphite	0.600	0.600

Pendant cette période, la teneur en soufre a été de 0,025 au minimum et de 0,096 au maximum; la quantité de soufre enlevé a donc varié de 94 à 78 pour 100, et la moyenne générale de 88 pour 100.

La conduite de l'appareil est facile, mais exige du soin pour le dosage; parce que, si les laitiers sont trop acides, l'épuration ne se fait pas, et s'ils sont trop calcaires ils sont difficiles à fondre. Du reste la garniture, qui est une question assez délicate, sera peut-être supprimée par une disposition spéciale de cubilot dont le succès laisse peu de doute.

Les fontes provenant de l'opération ont été traitées par le puddlage chaud; cette fonte, quoique plus pure que la fonte dont elle provient, ne s'affine pas plus vite; on a essayé d'y ajouter une plus grande quantité de

scories acides, ou d'y mélanger une certaine proportion de fonte grise, et on a obtenu du fer de texture régulière dont les résultats présentent des différences remarquables avec ceux des fers provenant de fontes non épurées.

On a eu des charges de rupture de 38, 40 et même 43 kilogrammes avec des allongements correspondants de 21, 25 et 19.5 pour 100 pour des fers carrés de 20 millimètres. On a soumis ces fers à des essais à chaud dans les conditions suivantes :

L'extrémité de la barre à essayer est forgée en un rondin de 16 millimètres de diamètre et 100 millimètres de longueur. On le rechauffe, puis en l'appuyant sur le côté de l'enclume à angle vif, on le coude à angle droit et on compte un. Ce crochet est redressé et on compte deux. On continue la flexion de façon à former un crochet dans le sens opposé et on compte trois, etc., jusqu'à ce que le bout tombe. La flexion doit être faite au marteau à main. Le nombre des crochets formés multiplié par 4 est le coefficient de qualité à chaud. Ce coefficient a été dans les essais de 84, 88 et 100, les fers ordinaires choisis ne donnant que 32 à 36.

En résumé, les essais démontrent que :

1° La qualité des fers à chaud est triple de la qualité commune et voisine des meilleurs fers connus ;

2° Il est facile d'obtenir par un puddlage convenable des fers variant de 43 kilogrammes, charge de rupture, et 20 pour 100 d'allongement, à 35 kilogrammes, charge de rupture, et 25 pour 100 d'allongement ;

3° Un puddlage en fonte blanche non manganésée donne des fers aussi bons que les fers provenant du puddlage des fontes grises. A un point de vue plus général, ce procédé donne la facilité d'obtenir des fontes blanches peu sulfureuses sans employer des minerais de manganèse.

Bibliographie. Bassin houiller de Brioude et de Brassac, par M. DORLHAC.

Note, de M. THIOLLIER, sur les **huiles neutres raffinées**.

Les huiles employées au graissage doivent, en dehors de leurs propriétés physiques, avoir celle essentiellement chimique, de n'être ni oxydables pour ne pas perdre ces propriétés physiques sous l'action combinée de l'air et de la chaleur, ni oxydantes pour ne pas attaquer le métal et former le cambouis.

Les huiles végétales contiennent toutes des mucilages qui les résinifient et des acides gras qui attaquent les métaux.

On entend par huiles neutres, des huiles qui sont dépouillées de leur mucilage et des acides gras libres ; c'est ce qu'en chimie on appelle des glycérides, c'est-à-dire une combinaison d'acide gras neutralisé par de la glycérine.

Un rapport adressé au ministre de la marine, par M. Ortolan, constate la supériorité des huiles neutres pour le graissage.

Les avantages sont :

1° Économie dans les quantités d'huiles consommées;

2° Économie dans le nettoyage et surtout dans l'usure des appareils;

3° Utilisation de la force motrice bien plus grande et économie dans la consommation de charbon.

Note de M. Chanselle, sur la **Transmission de force par l'électricité; application dans les mines**[1]. — La Société des houillères de Saint-Étienne installe au puits Thibaud, au treuil d'extraction, qui sera mû électriquement par une locomobile placée au jour; des essais ont été faits chez MM. Crozet et C[ie], avec le treuil et la locomobile, qui vont être placés au puits Thibaud. Le rendement obtenu n'a été que de 25 pour 100, ce qui doit être attribué à ce que les machines Gramme, fournies gratuitement pour cet essai par M. Félix, sont beaucoup trop fortes pour le travail à produire.

Aux mines de la Péronnière, on va installer deux treuils à l'intérieur, actionnés par une machine placée au jour à 800 mètres de distance pour remplacer des chevaux. On avait songé à l'emploi de l'air comprimé; mais on manquait de place pour loger les machines à l'intérieur et, avec les puits d'extraction non guidés, la difficulté de placer les tuyaux n'eut pas permis de mettre les compresseurs à l'extérieur.

Communication de M. Brustlein, sur la **Soupape de sûreté, système Adams**[2].

Procédé Lagot pour le tirage à la poudre.

Observations de M. Imbert, au sujet des **Tôles pour chaudières à vapeur**. — Ces observations sont relatives à la communication qui a été faite dans la séance du 20 mai, à la Société des Ingénieurs civils, par M. Jourdain.

Il a été dit qu'un certain nombre de constructeurs employaient des tôles d'acier, spécialement pour le coup de feu, et que, d'une manière générale, dans les générateurs à vapeur, la tôle d'acier se comportait mieux que la tôle de fer au point de vue des piqûres et corrosions. Il a été admis également que le poinçonnage des trous de rivets est un inconvénient au point de vue de la résistance des tôles, et que l'emploi de l'eau distillée amène des corrosions.

M. Imbert dit que les tôles d'acier n'ont pas répondu à ce qu'on en attendait; elles se trempent et il se forme à la surface un épiderme, dont

1. Voir sur ce sujet les comptes rendus de juin, page 617.
2. Voir comptes rendus de mai, page 583.

la qualité n'est plus la même que celle de la tôle primitive; on ne devrait au contraire employer des tôles d'acier que pour des appareils à température moyenne, tels que les corps cylindriques des locomotives.

M. Imbert admet l'effet fâcheux du poinçonnage des tôles, qui détermine des fentes ou criques (très faibles et visibles seulement à la loupe). Il admet également la corrosion par l'eau distillée. En employant à Saint-Chamond de l'eau qu'on peut considérer comme chimiquement pure, il a vu ronger en peu de temps une entretoise en fer au bois.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ET ARCHITECTES D'AUTRICHE.

N° 3. — 1881.

Le **Chemin de fer métropolitain de Berlin,** par M. N.-R. Bode, directeur de la Société de construction de Vienne.

L'**Aqueduc de Lisbonne**, par M. von Wéber, d'après le portugais du major von Chelmicky et d'autres sources.

Second rapport de la Commission hydrotechnique, sur l'**Influence de la culture relativement à la diminution d'eau des sources, rivières et fleuves.**

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

7e *livraison de* 1881.

Concours pour la construction du pont fixe sur le Rhin, entre Mayence et Castel, par le docteur J.-B. Goebel, ingénieur à Gustavsburg.

Appareils de détente variable des machines à vapeur, par M. R. Proell, à Dresde.

Dépression de la surface dans les puits, par M. Oscar Smreker, à Prague (*Suite*).

État de l'industrie du fer en 1880, par M. C. Petersen; directeur des laminoirs de Englerth et Cünzer, à Eschweiler.

Machine élévatoire des eaux d'Elberfeld et ses résultats, par M. F. Kord ingénieur de l'établissement municipal des eaux et du gaz d'Elberfeld.

Pression sur les soupapes des pompes, par M. Zandes, inspecteur de machines à Schwientochlowitz.

Nouvelle construction des cylindres de laminoirs, par M. W.-R. Schürmann, constructeur de machines, à Dusseldorf.

L'industrie minérale de la Silésie et l'Exposition de Breslau (*Suite*).

Les voies en fer pour chemins de fer.

Embrayage à friction américain de Addymann.

Chauffage à vapeur de l'église du Saint-Esprit, à Magdebourg.

Chauffage et ventilation des écoles municipales de Darmstadt.

Durée des rails d'acier, leur composition chimique et leurs propriétés physiques.

Influence du froid sur la résistance de l'acier.

Bronze manganèse.

Action des huiles sur les métaux.

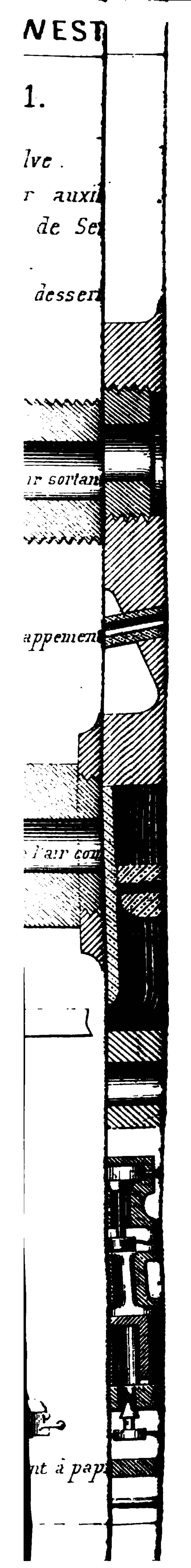
Huile fixe pour graissage.

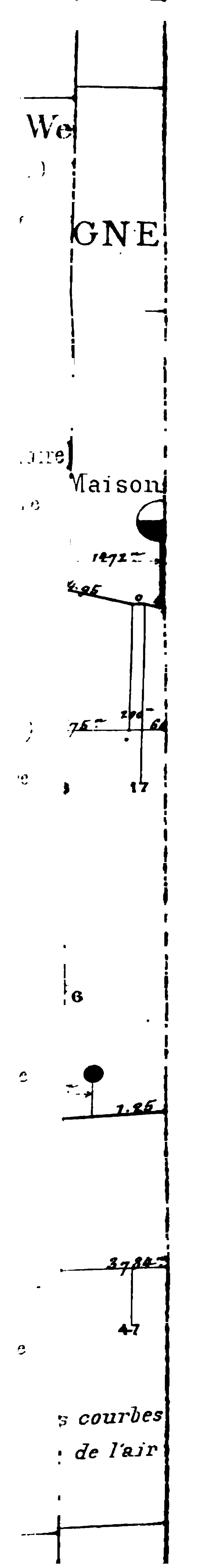
Fondations en beton pour machines.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. MALLET.

PARIS.— IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.


NEST
1.
lve .
r auxi
de Se
desser
ir sortan
appemen
l'air co
nt à pap


We
GNE
Maison
17
6
47
courbes
de l'air

2.

3.

esses.

urg.

ue NCES EI

heu (1
din
'he

17 7.

/o

4.780

mai

'he scente ave

b

2. Frein

ina

her

%

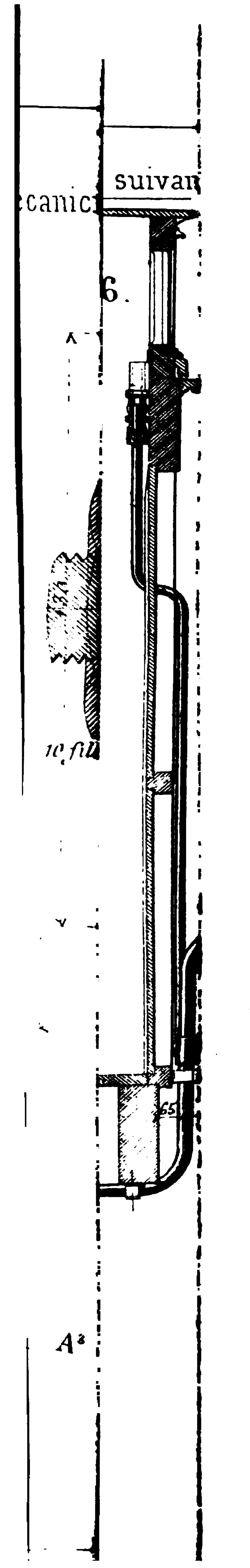
°3. Frein

t d

ure

esses, et les a

ourgon. La for


suivan
canic
6.
10 fil
65
A³

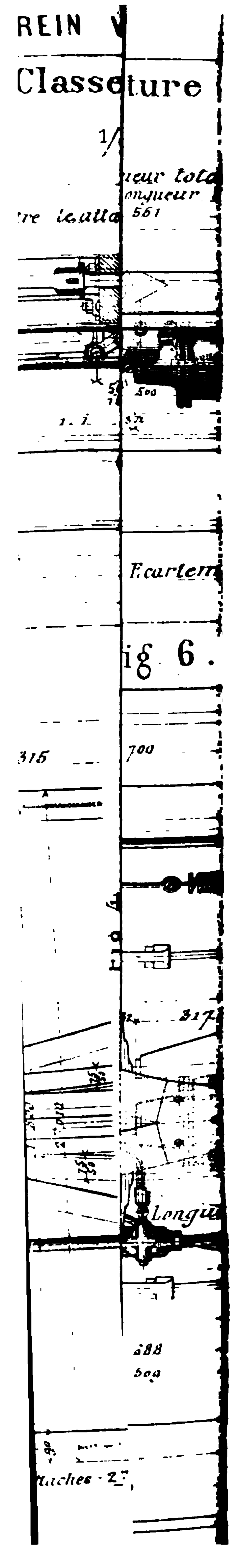
FRE

Cla

ntre

315

flaches



REIN
Classeture
1/
ueur tota
ongueur
551
500
700
315
Ecartem
ig. 6.
317
Longu
588
500
taches · 27

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

SEPTEMBRE 1881

N° 9

Pendant le mois de septembre, les questions suivantes ont été traitées :

1° Exposition de l'Électricité (séances-visites à l'). Séances des 22 et 30 septembre, pages 214 et suivantes).

Pendant le mois de septembre, la Société a reçu :

De M. Brioschi, président de la Commission d'enquête sur l'exercice des chemins de fer en Italie, 14 volumes des *Rapports de cette commission*.

De M. Vauthier, membre de la Société, deux exemplaires de son rapport, présenté au maire de Rouen, sur les *Améliorations dont sont encore susceptibles la Seine maritime et son estuaire*.

De M. Léger (Alfred), membre de la Société, un exemplaire de son projet de *Dérivation du Rhône*.

De M. Ducher et Cie, éditeurs, un exemplaire de la *Technologie du bâtiment, étude complète des matériaux de toute espèce employés dans les constructions*.

De M. Bourry, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure, sur les *Fabriques céramiques de Marseille ou de Saint-Henri.*

Étude comparée des canaux et chemins de fer, par un ingénieur des ponts et chaussées en retraite, un exemplaire.

De l'École des ponts et chaussées, un exemplaire du tome deuxième de la *Collection des dessins distribués aux élèves.*

De M. Canovetti, membre de la Société, un mémoire intitulé : *Recherches sur la théorie poutres continues, application au calcul des poutres pour routes.*

NOTE

SUR UN AVANT-PROJET SOMMAIRE

DU PROLONGEMENT STRATÉGIQUE

RELIANT

SAIDA A GÉRYVILLE ET A TYOUT

Par M. FOUSSET.

EXPOSÉ

Les événements dont nos possessions du sud-ouest de l'Algérie viennent d'être le théâtre, n'ont pas seulement mis en lumière les ressources de toutes natures qu'offre à la défense de notre grande colonie, le chemin de fer d'Arzew à Perrégaux, Mascara et Saïda, prolongé sur les Hauts-Plateaux, comme base de mobilisation, de concentration et de ravitaillement de nos colonnes du sud; ils ont, aussi, démontré l'impérieuse nécessité de prolonger, au plus vite, cette voie ferrée à travers les Hauts-Plateaux, jusqu'à Géryville et jusqu'à Tyout.

Aujourd'hui, tout le monde comprend, en effet, que cette voie ferrée assurerait :

1° Dans le présent, une répression immédiate et vigoureuse, sans exténuer nos troupes et sacrifier le sang français, dans ces régions inhospitalières;

2° Dans l'avenir, la tranquillité définitive des Hauts-Plateaux, du Grand Atlas, des Ksours turbulents du versant saharien et des Oasis de Figuig.

État actuel de la question; le Kreider point obligé. — A l'heure actuelle, le chemin de fer d'Arzew à Saïda et prolongements est ouvert à l'exploitation régulière et publique jusqu'au Kralfallah (kilom. 215), situé sur la route stratégique de Saïda à Géryville. De plus, au delà de Kralfallah, la voie ferrée est prolongée sur le versant des Chotts, jusqu'à l'Oued Fallet (kil. 251) et les puits de Marhoum (kil. 271). Ce prolongement rencontre la route stratégique reliant la place de Saïda au Kreider et de là à Géryville d'une part, et à Tyout de l'autre, au kil. 240, entre les stations de Modsbah et de Sfid.

Le Kreider est le meilleur point d'eau de toute la région des Chotts, il commande les deux routes stratégiques de Tyout et de Géryville à Saïda, par Sfid et Timetlas; c'est donc, sur les Hauts-Plateaux, le point de concentration obligé. Cette importance stratégique s'impose tellement, que, dès nos premières expéditions dans le sud, nos généraux y avaient élevé une redoute qui est restée occupée par une garnison permanente jusqu'en 1864, et que, aujourd'hui comme jadis, le Kreider est la base d'opérations de nos colonnes dans ces régions.

Actuellement, c'est donc à *Modsbah-Sfid*, au kil. 240, que le chemin de fer conduit les troupes, le matériel, les vivres et les munitions et qu'il reprend les blessés et les malades de nos colonnes.

Il apparaît donc comme particulièrement urgent de conduire la voie ferrée, base de concentration et de ravitaillement de nos troupes, immédiatement, au Kreider, point stratégique par excellence de la ligne des Chotts, sur lesquels nos colonnes sont établies à l'heure actuelle, pour y couvrir le Tell, pendant toute la période torride de juillet, août et septembre, dont la rigueur ne saurait permettre les marches offensives.

DESCRIPTION DU TRACÉ (Pl. 33 et 34).

De Modsbah-Sfid (kil. 240) au Kreider (kil. 270) 30 kilomètres. — De Modsbah-Sfid (kil. 240. — Altitude 1,060^{m}), la ligne projetée suit la direction N. S. de la route stratégique et descend insensiblement (en pente de 3 millimètres) vers les Chotts. Après un parcours d'environ 30 kilomètres, des plus faciles, elle atteint l'ancienne redoute de Sidi-Khalifa et les inépuisables et excellentes sources du Kreider (kil. 270. — Altitude 990^{m}).

Au Kreider, il serait établi de concert avec l'autorité militaire, un

bordj toujours gardé et facile à défendre, servant tout à la fois, de gare, de caserne, de gîte d'étape et, au besoin, de magasin de ravitaillement.

Dans les circonstances actuelles, on devrait faire ces 30 kilomètres de ligne en trois mois, afin de pouvoir conduire les trains sur les Chotts, au poste du Kreider, pour la reprise probable des hostilités à l'automne, après la période des chaleurs accablantes; et ce, malgré les rigueurs du climat de l'heure actuelle.

Du Kreider (kil. 270) à Tismoulin (kil. 330) 60 kilomètres. — En quittant le Kreider (kil. 270. — Altitude 990m) le tracé coupe la pointe extrême du Chott, travail fort insignifiant, et remonte doucement le versant sud des Chotts, dont la pente moyenne n'excède pas trois millimètres par mètre. Après un parcours en ligne droite, d'environ 60 kilomètres, sur un terrain plat et résistant, la ligne atteint Tismoulin (kil. 330. — Altitude 1,100m) point d'eau très important et point de croisement de nombreux sentiers, qui commande le centre des Hauts-Plateaux. Il serait établi sur ce point central, point de bifurcation des deux tronçons de Géryville et de Tyout, un bordj analogue à celui du Kreider.

Ce tracé, par le Kreider et Tismoulin, réunit les trois avantages suivants :

1° En reportant jusqu'à Tismoulin le point de bifurcation, il augmente de beaucoup la longueur du tronc commun de voie unique, utilisé par les deux lignes, et offre, ainsi, le maximum d'économie;

2° Les deux bordjs du Kreider et de Tismoulin commandent tout le centre des Hauts-Plateaux;

3° Enfin, cette position centrale de la ligne, ainsi maintenue à 150 kilomètres de la frontière du Maroc, la met complètement à l'abri d'un coup de main.

De Tismoulin (kil. 330) à Géryville (kil. 380) 50 kilomètres. — De Tismoulin (kil. 330. — Altitude 1,100m) point de bifurcation, l'embranchement de Géryville se dirige au sud-est. Évitant quelques buttes isolées, il s'élève, graduellement et presque en ligne droite, à travers de vastes plateaux, dont la pente générale n'excède pas 5 millimètres par mètre, et atteint sans aucune difficulté les abords de Géryville.

Géryville est situé à l'entrée d'une portion fort accidentée du Grand Atlas, à la naissance de l'Oued Cheraga qui forme, dans la montagne, une gorge étroite et tourmentée. C'est par cette vallée étranglée que le tracé doit arriver à Géryville (kil. 380. — Altitude 1,307^m). Mais ce n'est que sur quelques kilomètres, à peine, que la ligne doit emprunter cette vallée; encore, la voie étroite de 1^m,10, grâce à sa flexibilité, ne rencontrera-t-elle, même sur ce point exceptionnel et d'une faible longueur, aucune difficulté sérieuse.

De Tismoulin (kil. 330) à Tyout (kil. 470) 140 kilomètres. — De Tismoulin (kil. 330. — Altitude 1,100^m) point de la bifurcation, l'embranchement de Tyout se dirige au sud-ouest sur un terrain facile, dont la pente générale n'excède pas 5 millimètres par mètre.

La ligne passe, d'abord, entre Aïn-Melah et Feretis, point d'eau important et croisement de plusieurs sentiers où il conviendrait d'établir un bordj-gare (kil. 390. — Altitude 1,135^m).

Au delà de Ferétis, le tracé remonte la pente douce du versant des Chotts et évite le Djebel-Melah, en longeant la Sebkha de Na'ama. Puis il franchit la chaîne du Grand Atlas, au col de Messif, à la hauteur d'El Asla, col peu élevé et d'un abord extrêmement facile, qui offre, en outre, toutes les ressources d'un excellent point d'eau. — C'est là (kil 430.— Altitude 1,240^m) que le tracé quitte la région des Hauts-Plateaux pour redescendre sur le versant saharien, par la vallée de l'Oued Namous, dans laquelle se trouve Tyout (kil. 470. — Altitude 1,037^m).

Tyout ne serait pas seulement, comme Géryville, un poste militaire de premier ordre, commandant le respect de l'autorité française dans tout le sud-ouest de nos possessions; Tyout, par sa position spéciale, aux portes des Oasis de Figuig et à l'entrée de la grande vallée saharienne de l'Oued Namous, desservi par une voie ferrée, serait, de plus, le grand marché naturel des caravanes du sud-ouest. Cet établissement assurerait donc à la France, au grand profit de l'influence nationale, tout le trafic de ces régions lointaines qui lui échappe complètement aujourd'hui par le Maroc, Mogador et la voie anglaise.

Le prolongement Transsaharien. — La grande idée du Transsaharien, qui a mis en mouvement, dans ces dernières années, tant de belles intelligences et provoqué tant de dévouements et de sacrifices,

fait, assurément, le plus grand honneur à l'esprit français. Ce vol hardi de l'intelligence n'a-t-il pas le don précieux de jalonner les projets de l'avenir?

Mais, la pratique ne peut suivre ces audacieux pionniers qu'à de longues distances, marchant à coup sûr, lorsque les intérêts nationaux le commandent et quand les circonstances le permettent.

Du reste, ce ne sera pas le privilège d'une région particulière d'avoir une voie ferrée, s'enfonçant progressivement dans les profondeurs de l'Afrique centrale. Chaque province aura, un jour, ses voies de pénétration, allant plus ou moins loin, suivant les besoins qui pourront se manifester successivement.

Aujourd'hui, dans la province d'Oran, les intérêts de notre grande colonie et l'influence française commandent d'aller à Tyout; mais à Tyout seulement, pour le moment.

Lorsque, grâce à ce premier tronçon, notre puissance sera complètement affermie sur les Hauts-Plateaux et les Ksours du Grand Atlas et que notre influence aura pénétré plus avant; alors, sans doute, il conviendra de prolonger la voie ferrée, d'une nouvelle section vers le sud; et ainsi, de proche en proche, peut-être. C'est la loi naturelle du progrès, qui appartient à l'avenir.

Tout en restant avec soin dans les limites des nécessités présentes, nous ne devons point perdre de vue les possibilités de l'avenir, et c'est pour cela que nous avons voulu assurer à la ligne de Tyout un facile prolongement vers le sud.

Nous avons vu, en effet, que Tyout était sur le versant saharien, dans la vallée de l'Oued Namous (kil. 470. — Altitude 1,037^m). Pour se prolonger dans le sud, la ligne descendrait donc, tout naturellement, la vallée de l'Oued Namous, dont la pente générale n'atteint pas 4 millimètres par mètre. Elle passerait, ainsi, à Moghar (kil. 505. — Altitude 920^m) (patrie de marabout Bou Amema); puis, à El Outed (kil. 545. — Altitude 800^m) et descendrait avec la plus grande facilité vers le *Gourara.*

En résumé, nous venons de voir, ainsi que le démontrent le plan et le profil en long ci-annexés, que le prolongement de la voie ferrée jusqu'à Géryville et jusqu'à Tyout se présente dans des conditions particulières de simplicité; et que la traversée du Grand Atlas vers Tyout est des plus facile.

PREMIER ÉTABLISSEMENT

Mode de construction. — Nous pensons qu'il conviendrait de multiplier les voies fécondes de pénétration en Algérie plutôt que de les établir avec une ampleur excessive et un luxe de dépenses que le trafic ne saurait justifier, surtout à travers les Hauts-Plateaux et dans la région saharienne. Ne perdons jamais de vue en examinant ces graves questions :

1° Qu'une voie économique répond, et au delà, à tous les besoins militaires ;

2° Que les pays à traverser, à desservir, sont le *Petit Désert* et le *Grand Désert* ;

3° Enfin, que la grande voie qui relie Alger à Oran, elle-même, n'a pu encore vivre de son trafic, et que ses grosses dépenses sont une charge pour le Trésor.

Qu'on ne perde pas de vue ces enseignements, et on sera convaincu que ce sont des chemins économiques à voie étroite qui, seuls, doivent pénétrer au cœur de l'Algérie.

Dans le cas qui nous occupe, nous pensons qu'il conviendrait de s'assurer, tout d'abord, les avantages stratégiques des lignes reliant Géryville et Tyout aux places du Tell, avec la moindre dépense possible, quitte à augmenter ultérieurement les aménagements, installations et matériel au fur et à mesure des besoins, si l'avenir le réclame.

La voie étroite de $1^m,10$ du chemin de fer d'Arzew à Saïda, se prête du reste à merveille à ces exigences de rapidité d'établissement, d'économie et de solidité, tout en offrant les plus grandes facilités pour l'exploitation.

Dépense kilométrique moyenne approximative. — Il faut bien remarquer, d'ailleurs, que, tout en poussant l'économie à ses dernières limites, il est des dépenses inhérentes à un pareil travail qu'on ne saurait éviter dans cette région dépourvue de tout. Il n'y a là, bien entendu, aucune difficulté que nous n'ayons déjà résolue sur nos lignes des Hauts-Plateaux ; mais la solution même de ces difficultés spéciales entraîne des dépenses exceptionnelles et particulières à cette région si peu hospitalière.

Pour dresser le devis de l'ensemble des lignes projetées, il faudrait, nécessairement, en étudier toutes les parties en détail, sur les lieux. Toutefois, comme donnée générale, nous pensons qu'en établissant ces lignes comme celles qui sont actuellement livrées à l'exploitation sur les Hauts-Plateaux et qui rendent aujourd'hui tous les services désirables, c'est-à-dire avec le même matériel et dans les meilleures conditions de solidité, d'entretien et de durée, mais, aussi, avec la plus grande simplicité et en réduisant le matériel au strict nécessaire, pour les débuts, on pourrait vraisemblablement limiter la dépense kilométrique ainsi qu'il suit :

DÉPENSE MOYENNE PAR KILOMÈTRE DE LIGNE.

1° *Infrastructure :* terrains, terrassements et ouvrages d'art.	10,000 fr.
2° *Voie courante :* (1^{m},10 d'écartement) rail Vignole en acier de 20 kil., tirefonds, éclisses, boulons, traverses, etc.	22,000
3° *Voies de garage et matériel de la voie :* changements, croisements, plaques, etc.	2,000
4° *Ballastage*.	6,000
5° *Alimentation :* appareils élévatoires, cuves, citernes, distribution, etc.	1,500
6° *Bâtiments :* bordj-gares, logements défensifs de tout le personnel sédentaire, dépôts, etc.	3,500
7° *Matériel roulant :* locomotives de 30 tonnes avec grands tenders séparés, wagons-citernes spéciaux, voitures et wagons, etc.	5,000
Ensemble	50,000
Etudes et intérêts pendant la construction 10 pour 100.	5,000
Somme à valoir pour imprévu 10 pour 100.	5,000
Ensemble :	60,000

Encore une fois, nous le répétons, l'établissement d'un devis nécessiterait forcément l'étude détaillée, sur place. Toutefois, nous pensons que, dans les conditions de solidité parfaite, mais aussi de simplicité que nous avons indiquées, on pourrait limiter la dépense moyenne kilo-

métrique, comme nous venons de le voir, à 50,000 ou 60,000 francs, matériel roulant compris.

Il convient de noter ici que l'établissement de cette voie ferrée rendrait inutiles les dépenses de construction des routes stratégiques qui, du reste, n'existent encore guère, aujourd'hui, que sur les cartes.

EXPLOITATION

Observations générales. — Il suffit de jeter un coup d'œil sur le profil en long ci-annexé pour voir combien la traction serait plus facile sur les voies presque horizontales des Hauts-Plateaux et de la région saharienne que dans la traversée si accidentée du Tell.

Or, le chemin de fer d'Arzew à Saïda vient de prouver jusqu'à l'évidence, par les services qu'il a rendus et qu'il continue, chaque jour, à rendre à la défense, que son exploitation offre toutes les ressources et toutes les facilités pour assurer instantanément (même à la remonte du profil si accidenté du Tell) tous les transports militaires possibles : 1° Infanterie ; 2° cavalerie ; 3° artillerie montée, avec chevaux, canons, matériel et munitions ; 4° obus, cartouches, dynamite, poudre ; 5° vivres, équipements, etc.

S'agit-il d'une unité tactique qui doit arriver, en toute hâte, sans se diviser ? Elle prend place dans un train unique de 25 voitures, remorqué en double traction jusqu'au sommet du Petit Atlas, au delà duquel la double traction devient inutile. — Un second, un troisième train semblables peuvent suivre le premier à 20 minutes d'intervalle.

S'agit-il d'unités moins importantes, qui doivent se suivre sans qu'il soit nécessaire de les réunir ? Des trains successifs de 12 à 15 voitures ou wagons sont expédiés, en simple traction, à la suite les uns des autres. — Nous en avons souvent expédié ainsi quatre se suivant les uns les autres.

Nous ne parlons pas des voitures et wagons ; ils n'ont jamais manqué et ne sauraient manquer : tous les types de véhicules peuvent être utilisés et sont employés aux divers transports militaires, grâce à quelques modifications provisoires prévues d'avance, et qui se font instantanément, sur place. Donc, pas la moindre difficulté de ce côté encore.

Enfin, s'agit-il d'obus, cartouches, dynamite, poudre ? En général,

c'est très pressé et très peu important comme poids ou volume, 2 ou 3 wagons, au plus, et, cependant, il faut un train spécial.— Rien de plus simple sur notre ligne : au lieu des grosses machines de 32 tonnes employées aux trains de troupes, nous en prenons une petite de 20 ou même de 12 tonnes, suivant le cas; et, immédiatement, sans perte de temps, comme sans perte de charge, nous avons une unité de train correspondant au faible tonnage et le train spécial de munitions est expédié en grande vitesse, comme la troupe.

Tout cela est simple, pratique, et se fait, chaque jour, avec la plus grande facilité sur la partie accidentée du profil, c'est-à-dire sur les 200 kilomètres qui traversent le Tell, à la remonte.— Il est incontestable que, dans la traversée si plate des Hauts-Plateaux, l'exploitation sera bien plus facile encore.

Mode d'exploitation entre Saïda, Géryville et Tyout. — Les résultats obtenus sur la ligne accidentée du Tell prouvent suffisamment que la voie ferrée offrira plus de moyens d'action qu'il ne sera jamais nécessaire d'en utiliser dans la région facile des Hauts-Plateaux, même pendant les périodes de concentration.

En temps ordinaire, afin de réduire les frais d'exploitation au strict nécessaire, on pourrait se contenter d'un train régulier par jour et dans chaque sens entre Saïda, Géryville et Tyout, et même, au début, d'un train régulier dans chaque sens, tous les deux jours; c'est-à-dire qu'un train, partant de Saïda, monterait, un jour, à Géryville et Tyout, et reviendrait, le lendemain, de Tyout et Géryville, à Saïda. La dépense régulière serait, ainsi, réduite à ses dernières limites, en temps ordinaire, et l'on aurait dans la main un instrument offrant, à un moment donné, les plus puissants moyens d'action.

A la moindre alerte, machines et wagons seraient blindés et les trains escortés sans aucun danger de bordj en bordj; il n'y aurait plus, ainsi, aucune surprise à craindre pour nos courriers et nos convois. — Quant à la voie elle-même, posée, pour ainsi dire sur le sol naturel, sans grands remblais ni ouvrages d'art importants, elle ne saurait être coupée. Tout ce que la malveillance pourrait faire, serait d'enlever un ou plusieurs rails, qu'une équipe volante aurait remis en place dans quelques instants. Au reste, depuis l'origine des troubles, nos trains n'ont cessé de circuler sans aucune difficulté à travers la région parcourue par les rebelles.

Transports effectués, trafic. — Avant tout, le chemin de fer de Kralfallah à Géryville et à Tyout est une voie stratégique, destinée à mettre les Hauts-Plateaux et la région saharienne entièrement dans nos mains pour assurer la sécurité complète de notre colonie et étendre l'influence française dans le sud. — C'est là le but et la raison d'être de cette voie ferrée.

Cette ligne serait donc, par-dessus tout, une ligne militaire et administrative, reliant les places du Tell à Géryville et à Tyout. En temps ordinaire, les trains assureraient les courriers, remplaceraient les convois actuels dont la marche par étapes à travers ces déserts est aujourd'hui si lente, si pénible et si incertaine, et transporteraient par voie rapide troupes, munitions, vivres, etc... En cas de tentative de révolte, ils couvriraient de troupes, en quelques jours, toute la région en mouvement, assureraient le ravitaillement et l'approvisionnement des places fortes et des colonnes mobiles, et permettraient, ainsi, d'étouffer dans son germe toute effervescence des tribus arabes. Voilà le rôle dominant de cette voie ferrée, et les derniers événements ont assez démontré que cette tâche, si importante pour le pays, suffirait, seule, pour commander son établissement.

Mais, cette ligne, ainsi que nous l'avons dit, aurait encore d'autres services à rendre. Elle développerait la colonisation aux environs de Géryville, et ferait, de Tyout surtout, le grand marché des Ksours Sahariens, des Oasis de Figuig et des Caravanes du sud; ce qui assurerait du trafic à la voie ferrée, tout en étendant au loin l'influence politique et commerciale de la France.

Enfin toute la région des Hauts-Plateaux, traversée par les voies ferrées, soit de Géryville, soit de Tyout, est couverte, pour la majeure partie, de magnifiques steppes d'alfa. Or, la Compagnie franco-algérienne a déjà habitué les tribus indigènes à cueillir l'alfa sur les Hauts-Plateaux; et c'est là, dans le cas qui nous occupe, une question du plus haut intérêt. On pousserait donc les peuplades indigènes à la cueillette de l'alfa, dans toute la région traversée, en le leur achetant dans les différents borjs-stations de la ligne; de la sorte, on fixerait au sol ces tribus essentiellement nomades aujourd'hui, et, par l'appât du gain, on exercerait une sérieuse influence sur ces peuplades devenues moins nomades. C'est peut-être encore là, pour l'avenir, l'un des plus sûrs moyens de prévenir les révoltes de ces tribus.

Du reste, les transports d'alfa, en assurant un nouvel élément de trafic important à la ligne, lui permettraient d'avoir rapidement sa vie commerciale propre, sans grever le budget d'aucune charge, dans un avenir prochain.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Conçu dans les conditions de garanties, mais aussi de simplicité que nous venons d'examiner, ce projet pourrait donc être vraisemblablement réalisé ainsi qu'il suit, tout au moins à l'origine.

Charges. — Les dépenses de construction garanties par l'État, étant limitées à 50,000 ou 60,000 francs par kilomètre, n'engageraient qu'une garantie de. . . . . 2,500 fr.

L'exploitation régulière, réduite à un train, tous les jours ou tous les deux jours, dans chaque sens, permettrait probablement de maintenir les dépenses annuelles, même dans cette région inhospitalière, à environ. . . . 3,500

Les charges annuelles de toutes natures, garanties par l'État, n'excéderaient donc vraisemblablement pas par kilomètre. . . . . 6,000 fr.

Produits. — D'autre part, l'État économiserait les dépenses considérables qu'il fait aujourd'hui :

1° Pour la construction et l'entretien des routes stratégiques qui n'existent encore guère que de nom ;

2° Les subventions données aux courriers ;

3° Les dépenses occasionnées par les convois militaires.

Enfin, et surtout, la ligne ferait des recettes commerciales provenant des transports ci-après :

1° Objets de toute nature nécessaires au développement des centres de Géryville, de Tyout et des environs ;

2° Marchandises de toutes espèces, européennes et sahariennes, échangées sur le grand marché de Tyout, rendez-vous des peuplades des Ksours, des oasis de Figuig et des Caravanes du sud, qui, aujour-

d'hui, échangent leurs produits par le Maroc, Mogador et la marine anglaise;

3° Quantités d'alfas considérables dont on pourrait, du reste, développer, à volonté, la cueillette dans toute la région des Hauts-Plateaux.

Ainsi, pour l'État, les avantages procurés par la ligne seraient de deux natures : *Économies réalisées et recettes perçues*, toutes deux venant diminuer les charges de la garantie. Si, comme nous venons de le voir, ces charges n'excèdent pas 6,000 francs par kilomètre, il est certain que la garantie, presque immédiatement éteinte par les recettes, ne sera guère qu'une *garantie nominale*.

Alors, le jour où l'importance des transactions commerciales de la France avec le sud le justifieront, on pourra, sans charge pour l'État, augmenter le matériel de toute nature, au fur et à mesure des besoins.

Conclusions. — Avec ce programme modeste, mais sûr et efficace, l'État peut immédiatement doter la colonie d'un instrument puissant, aussi indispensable à sa préservation, que nécessaire pour l'extension de son influence; et, cela, sans s'engager dans une opération financière lourde, dont les charges, hors de proportion avec les résultats, pourraient arrêter dans l'avenir, l'essor d'autres voies de pénétration, également utiles à l'extension de l'influence française en Afrique.

Ne perdons jamais de vue qu'une grande voie ferrée ne trouve pas un aliment suffisant à sa vie propre entre Alger et Oran!

Ce qu'il faut, jusqu'aux Ksours, aux Oasis et aux Caravanes du désert, ce n'est donc pas UN GRAND TRANSSAHARIEN stérile, établi sur un seul point de cette immensité, mais bien PLUSIEURS PETITES voies ferrées de pénétration, fécondes, assurant la solidité de notre occupation sur tous les points avancés de nos trois provinces, et répandant notre influence dans les différentes parties de cette immense Afrique centrale.

C'est là, du reste, ce que le Congrès scientifique d'Alger a parfaitement compris en appuyant de son vote et de son autorité les conclusions si frappantes de la communication de M. Ernest Chabrier en faveur des lignes de pénétration à voie étroite en Algérie.

MÉMOIRE

SUR LE

PORT DE MARSEILLE

PAR M. DOUAU.

CRÉATION DE NOUVEAUX BASSINS AU SUD.

Dans ses séances des 10, 15, 17 et 19 mars, la Chambre des députés a examiné un projet de loi ayant pour objet la création de bassins au sud du port de Marseille; après une longue discussion, la question a été renvoyée pour être soumise à une nouvelle enquête, et nous avons pensé, en cet état, qu'il nous était permis, sans manquer en rien aux convenances que nous dèvons aux pouvoirs législatifs, de vous entretenir de cette question, dont l'importance n'a pas besoin d'être défendue devant vous.

Si nous nous reportons, en effet, aux observations formulées dans les séances des 4 et 18 février dernier après les communications de MM. Hersent et Gaudry, on conçoit en effet que la Société des Ingénieurs civils ne saurait se désintéresser de l'étude de projets semblables à celui dont nous désirons l'entretenir; nous plaçant d'ailleurs au point de vue technique, nous ne sortirons certes point de notre rôle; il s'agit de travaux qui ressortent essentiellement du domaine de l'ingénieur, nous n'avons point de parti pris, la discussion est libre et c'est ainsi que dans un cas analogue, lorsque la question du rachat des chemins de fer a été traitée ici même d'une manière aussi large et aussi complète que possible, nous avons donné une nouvelle preuve de la vitalité et de la valeur de la Société, et nous estimons qu'elle ne doit

point laisser de côté l'examen des différents travaux qui peuvent être en projet alors même qu'ils sont présentés à des assemblées politiques; nous devons, en ce qui touche le rôle de l'ingénieur, connaître et étudier les différents projets qui sont en présence, et de la discussion qui résultera de semblables communications sortiront probablement des idées, des modifications nouvelles profitables aux travaux eux-mêmes et par suite au pays tout entier.

Ces préliminaires nous ont semblé nécessaires au commencement d'une communication qui, à première vue, semble rentrer dans le domaine économique, nous revenons au sujet dont nous désirons vous entretenir. Nous n'avons certes point la prétention, quant à nous personnellement, de trancher une question qui divise et passionne un certain nombre d'ingénieurs appartenant, soit à l'État, soit au génie civil, notre but est plus modeste, il s'agit, dans l'espèce, de deux projets; nous nous bornerons donc à vous les faire connaître l'un et l'autre, convaincus que la discussion déterminera celui qui, au point de vue technique, semble présenter les plus grands avantages.

PREMIÈRE PARTIE

EXPOSÉ.

Nous trouvons dans l'exposé des motifs du projet de loi, déposé le 16 décembre 1879, sur la création de nouveaux bassins au sud du port de Marseille, les renseignements suivants[1] :

Le port de Marseille comprend dans son état actuel:

1° L'ancien port et ses annexes.

2° Une série de bassins construits successivement le long de la côte entre le fort Saint-Jean et le cap Pinède, dont les derniers ne sont point encore terminés.

1. Projet de loi, n° 803. — Annexe, n° 2105.

La surface d'eau utilisable, quand tous les ouvrages prévus seront achevés, sera portée ainsi à 125 hectares et la longueur des quais sera de 13,000 mètres, alors que leur développement actuel est seulement de 8,514 mètres.

L'administration ajoute, dans le document dont nous parlons, qu'elle n'a pas pensé que ces installations répondraient d'une manière suffisante aux exigences de l'avenir alors qu'il s'agissait d'un port dont le tonnage, depuis 43 ans, s'était accru en moyenne de 100,000 tonnes par année.

En effet, en prenant comme base l'augmentation que nous venons d'indiquer, il en résulterait qu'en 1888, les moyens dont on dispose, seraient justes suffisants pour assurer le service du tonnage de marchandises à cette époque; et qu'à partir de ce moment on se trouverait en présence de nécessités nouvelles qui imposent à l'Administration le devoir de se préoccuper, dès à présent, de la création de nouveaux bassins qui seraient placés au sud du port de Marseille.

A. **Projet du Gouvernement**. (Voir planche n° 35). — Les Ingénieurs de l'État ont, en conséquence, étudié le projet de ces nouveaux bassins, et nous nous bornerons à rappeler que « le système proposé « reproduit la combinaison adoptée pour la construction de bassins « au nord, consistant dans une série de bassins se succédant le long « de la côte et fermés du côté du large par une digue extérieure. »

Voici, du reste, quelques renseignements complémentaires sur le projet présenté par le Gouvernement.

Dans le premier avant-projet, la digue d'enceinte se prolongeait sur 2,400 mètres de longueur, à peu près parallèlement à la côte comprise entre le promontoire du Pharo et la pointe d'Endoume; cette digue devait séparer de la mer, en avant des quais de rive à construire par des fonds d'au moins 7 mètres, une surface d'eau de 1,600 mètres de longueur et de 520 mètres de largeur. Une autre digue, faisant avec la première un angle de 95 degrés et passant à l'extrémité des îles d'Endoume, terminait le port au sud, en laissant une passe de 100 mètres de largeur.

Au nord, la digue du large s'infléchissait vers la côte sur 650 mètres de longueur; de telle sorte que son extrémité laissait le long du quai de rive une passe d'entrée de 110 mètres, du côté de la pointe de Carinade.

Une commission d'inspecteurs généraux, appelée à examiner cet avant-projet, y fit rapporter quelques modifications consistant principalement à dégager la passe nord du côté de la pointe du Pharo, et d'autre part à écarter à 250 mètres au delà des îles d'Endoume la digue du sud. La dépense des premiers travaux était évaluée à 33 millions.

Cet avant-projet ainsi modifié, fut soumis à l'enquête nautique après avoir reçu toutefois l'approbation du conseil général des ponts et chaussées, et fut rectifié comme suit :

Le nouveau bassin sera complètement fermé au nord par le raccordement de la digue à la pointe de la Carinade, de plus, la traverse qui le séparera de l'avant-port sud sera reportée sur la Roche des Pendus; enfin, deux môles seront construits, l'un de 250 mètres de longueur, l'autre de 150 mètres. Les largeurs de la traverse et des môles étant égales à celles adoptées pour les bassins nord.

La superficie du bassin sud était ainsi portée à 29 hectares avec un développement de quai de 3,030 mètres; l'avant-port d'Endoume ayant de plus une surface de 33 hectares et une longueur de quai de 870 mètres sans mur d'abri ni quai.

Le projet revint ensuite devant le Conseil général des ponts et chaussées qui a proposé de rétablir l'ouverture au nord des bassins et ajoute le projet de loi : « en décidant que la largeur de cette ouver-
« ture sera déterminée par expérience, la digue extérieure n'étant
« prolongée vers la pointe de la Carinade que progressivement et
« arrêtée quand on reconnaîtra que le ressac commence à augmenter,
« au détriment de l'avant-port, contre la pointe du Pharo. »

Puis sur les bases conformes aux conclusions du Conseil général des ponts et chaussées, l'Administration fait procéder aux formalités de l'enquête d'utilité publique; et la Commission concluait aux modifications suivantes :

« 1° Augmenter la surface d'eau du bassin et la longueur utilisable
« des quais, par le creusement de 10 hectares environ dans l'anse
« des Catalans et la plaine Saint-Lambert;

« 2° Fermer complètement la passe nord par le prolongement de la
« digue extérieure jusqu'au rivage;

« 3° Mettre en communication le nouveau bassin et les ports actuels
« par un large canal aboutissant au-dessous du bas-fort Saint-
« Nicolas. »

Le Conseil général des ponts et chaussées, délibérant à nouveau sur les résultats de l'instruction que nous venons d'analyser sommairement, ne donna pas son approbation à la création d'un bassin dans le vallon des Catalans, en reconnaissant toutefois la nécessité d'un canal reliant les bassins au vieux port.

Le canal à ouvrir partira d'un point situé sur la côte Ouest du vieux port, au-devant du bas-port Saint-Nicolas, pour aboutir après un parcours de 845 mètres, au quai de rive des bassins sud, par la petite anse des Catalans. Dans sa première partie, sur une longueur de 380 mètres, le canal projeté aura 30 mètres de largeur et sera bordé d'une voie publique de 25 mètres; dans la seconde partie, la largeur du canal sera portée à 100 mètres et on établira en arrière de chacune de ses rives un quai large de 50 mètres.

Les dépenses du projet ainsi transformé sont estimées à 51 millions.

Telles sont donc les indications préliminaires que nous avions à présenter sur le projet du gouvernement, sur lequel nous aurons du reste à revenir relativement aux objections qui ont été soulevées; nous allons maintenant donner également les renseignements relatifs aux autres projets présentés, ceux de M. Marius-Michel et de M. Deshorties de Beaulieu.

B. **Projet de M. Marius Michel**. — Le projet présenté par M. Marius Michel comprend les ouvrages suivants[1] :

« 1° Une jetée de 1,300 à 1,400 mètres de longueur enracinée sur « la jetée extérieure de la Joliette, au droit de la traverse de la Major « et se développant devant l'avant-port à 250 mètres au large de la « pointe du Pharo;

« 2° Un brise-lames d'environ 700 mètres de longueur passant par « la balise du Canoubier, dirigé du S.-E. au N.-O. et destiné à pro- « téger la passe nouvelle contre les vents du S.-O.;

« 3° Élargissement à 180 mètres environ de la passe de la Major, « qui ne mesure actuellement que 36 mètres.

« 4° Établissement dans l'avant-port sud actuel ainsi abrité de « toutes parts, des quais et des môles affectés aux opérations de

1. Projet de loi, n° 803. — Annexe, 2105. — Pages 6 et 7.

« commerce et qui, donnant dès à présent plus d'espaces aux navires, « répondraient aux développements probables et prochains, du mou- « vement maritime et commercial. »

Ces travaux seraient exécutés aux conditions ci-après :

« 1° Le concessionnaire serait autorisé à combler l'extrémité Est « du vieux port, jusqu'à la ligne passant par l'Hôtel de Ville et la rue « du Fort-Notre-Dame-de-la Garde ; il construirait un nouveau quai « dans cette direction ; le canal de la Douane serait supprimé.

« 2° Il raserait le fort Saint-Jean et le bas-fort Saint-Nicolas. Il « ramènerait à sa largeur actuelle, sur tout son parcours, le canal de « communication qui existe entre le vieux port et la Joliette, en sup- « primant une partie du bassin de stationnement qui n'a pas une pro- « fondeur suffisante. »

En passant, nous ferons remarquer que nous indiquons seulement ce qui a trait à l'exécution technique ; les combinaisons financières et autres devant, en ce qui nous touche, être écartées de la communication.

Pour ne pas être accusé de partialité, nous devons ajouter que ce projet fût présenté ainsi qu'un autre dont nous allons vous entretenir (projet de M. Deshorties) à la Commission d'inspecteurs généraux chargée de donner son avis sur celui préparé par l'Administration ; mais cette commission a été d'avis de les écarter et de soumettre seulement aux formalités de l'instruction l'avant-projet dressé par M. l'Ingénieur en chef du services des Bouches-du-Rhône.

C. **Projet de M. Deshorties.** (Voir planche n° 35.) — Il nous reste maintenant à faire connaître en quoi consiste ce second projet, écarté ainsi que nous venons de le voir et qui a fait l'objet d'une proposition de loi présentée par M. Farcy, le 15 mars 1880 [1].

Le projet de M. Deshorties établit un bassin de 28 hectares dans la plaine des Catalans à l'abri des collines de la Réserve et du fort Saint-Nicolas. Un canal contournant le fort Saint-Nicolas, établira la communication entre ce bassin et celui du carénage, par suite avec le vieux port.

A partir de la pointe du Pharo, une jetée de 125 mètres de large

1. Voir annexe, n° 2412.

contourne la côte à une distance de 130 mètres, de façon à faire un large canal servant d'entrée au port des Catalans et reliant le bassin au port d'Endoume, situé en face de l'anse de ce nom.

Le port d'Endoume, qui est en quelque sorte un avant-port pour abriter les navires qui viennent mouiller ou se réfugier en cas de mauvais temps, a un bassin de 9 hectares qui, ajoutés aux 7 hectares du grand canal, constituent avec le bassin des Catalans un ensemble de 43 hectares de surface d'eau et 4,640 mètres de quais tous réunis à la terre ferme.

A partir du rocher des Pendus, la jetée se rétrécit un peu et se dirige au sud et au sud-sud-est.

Enfin ce projet se complète par la création d'un port à Loriol ayant une surface de 32 hectares et une longueur de quais utilisables de 3,950 mètres.

Les travaux en sont estimés à 41 millions de francs.

Après avoir exposé la situation, ainsi qu'elle se présente, nous allons compléter cette première partie de notre travail, en faisant connaître à la Société les observations qui ont été soulevées au sujet de ces différents projets; il sera ainsi plus facile de se livrer à une discussion qui, nous n'en doutons pas un seul instant, aura un très grand intérêt au point de vue des modifications qui devront être adoptées aux projets qui vous seront présentés.

DEUXIÈME PARTIE

EXAMEN DES DIFFÉRENTS PROJETS.

A. **Observations générales.**— Tout d'abord nous ferons remarquer qu'à Marseille les vents N.-O. sont les plus fréquents, et si l'on jette les yeux sur une carte, on s'aperçoit bien vite qu'un seul emplacement, le vieux port, est à l'abri du mistral; partout ailleurs on s'y trouve plus ou moins exposé; c'est donc un inconvénient résultant de

la situation géographique et topographique de la ville, et contre lequel il est difficile de réagir. Les bassins du nord sont soumis à l'action directe des vents que nous venons d'indiquer, et il en résulte des difficultés nombreuses, non seulement pour procéder aux opérations de chargement et de déchargement. Pour les éviter, on a cherché à créer des abris artificiels en élevant des magasins sur les traverses des bassins; enfin dans certains cas les ouvriers se servent de garde-fous volants pour se protéger, bien imparfaitement il est vrai, contre les embruns projetés par le vent; mais il y a encore des moments où les mouvements des navires ne peuvent s'effectuer.

Nous ajouterons que les bassins du nord ne pourraient être prolongés au delà du cap Janet; car passé ce point, la violence des vents du N.-O. est encore plus considérable; c'est donc seulement au sud que l'on doit chercher à établir ces nouveaux bassins pour remédier à l'insuffisance *déjà relative* de ceux qui existent actuellement.

Une deuxième remarque importante à faire, c'est que la majorité du mouvement des bâtiments qui entrent ou qui sortent du port de Marseille est dans la direction du sud, les manœuvres que les navires ont à faire, soit à l'entrée, soit à la sortie, sont donc toujours gênées par le vent de mistral, et l'on est forcé de reconnaître que l'accès des bassins du nord est difficile, souvent même dangereux; « c'est ainsi « que, dans certains cas, les navires des messageries maritimes ont « été obligés d'aller se réfugier à La Ciotat[1]. » Actuellement, les navires qui entrent dans le port de Marseille peuvent, suivant la direction du vent, prendre des chemins différents; les passes d'accès sont en effet les suivantes :

1° A l'ouest des îles du Frioul;

2° Entre les îles du Frioul et le château d'If, avec une largeur de 400 mètres;

3° Entre le château d'If et le Canoubier, avec une largeur de 750 mètres;

4° Enfin entre le Canoubier et les îles d'Endoume.

En général, les grands paquebots à vapeur suivent la route entre le Canoubier et le château d'If; celle des navires à vapeur ordinaires et des voiliers est comprise entre les îles d'Endoume et le Canoubier.

1. Voir *Journal officiel* du 18 mars 1881. — Page 543, colonne 2. Discours de M. le Commissaire du Gouvernement.

Il nous a paru utile de présenter ces quelques observations ; car on s'explique facilement que dans le cas, le plus fréquent d'ailleurs, de vents de N.-O. les navires qui rentrent dans le port et qui serrent au plus près la pointe du Pharo, peuvent, s'ils n'arrivent point à franchir cette pointe, être affalés du côté de la terre, et qu'en pareil cas la *passe* entre les îles d'Endoume et le Canoubier a une utilité incontestable pour permettre aux navires de se réfugier au sud des îles d'Endoume dans la rade même de ce nom.

B. **Projet du Gouvernement**. — Indiquons maintenant les critiques qu'a soulevées le projet du gouvernement ; l'exposé des motifs du projet de loi les résume comme suit :

« 1° Les bassins sud auraient, comme ceux du nord, le grand « inconvénient d'être exposés aux vents dominants du N.-O. ; il y « aurait donc peu de sécurité pour les navires en stationnement ; les « déplacements y seraient difficiles ou impossibles et la manutention « des marchandises souvent entravée.

« 2° La grande digue extérieure serait un danger permanent et « sérieux pour la navigation, et il y a de graves inconvénients à sup- « primer la passe existante du Canoubier.

« 3° La digue produirait un fort ressac dans l'avant-port de la « Joliette.

« 4° La passe laissée au Nord serait impraticable, laisserait entrer « la houle dans le bassin et ne constituerait pas véritablement la « communication qui doit nécessairement exister entre les bassins « sud et les autres ports. »

Nous allons procéder à un examen succinct de ces différents points :

Première objection. — En ce qui concerne l'influence des vents du N.-O., l'examen de la carte nous montre qu'elle sera considérable. Les nouveaux bassins seront pris en travers par le mistral ; mais, comme nous l'avons indiqué plus haut, c'est là un inconvénient de fait sur lequel nous n'avons pas à insister davantage.

Deuxième objection. — En ce qui touche les dangers qui peuvent résulter pour la navigation de l'orientation de la grande digue exté-

rieure et de la suppression de la passe du Canoubier; on s'explique facilement combien ces dangers sont réels en raison de la fréquence des mouvements de navires par les passes du Sud ; par les vents de N.-O., les navires remorqués ou non seront forcés de cotoyer cette jetée et avec le moindre accident, ils seront jetés dessus et condamnés pour ainsi dire d'avance à être perdus corps et bien, sans qu'il soit possible de porter secours aux équipages et aux passagers.

Quant à la suppression de la passe du Canoubier, le rapporteur du projet du Gouvernement déclare que c'est là, « en réalité, un inconvénient de faible importance. » Il ajoute qu'un grand nombre de ports sont loin d'être aussi favorisés et aussi bien desservis, qu'enfin, on y trouvera l'avantage « de couvrir l'entrée de l'avant-port de la Joliette « contre les vents du sud-ouest qui sont très violents. »

Ces affirmations sont d'ailleurs contredites d'une manière formelle, et par des considérants fortement motivés dans une lettre adressée au Président du Comité des Compagnies d'assurances maritimes de Marseille, par les officiers de marine délégués du Comité pour examiner le projet du Gouvernement ; nous aurons à revenir sur cette déclaration et, pour éviter des redites et des longueurs, nous la citerons dans son entier, à la suite de l'examen sommaire des objections soulevées contre ledit projet.

Troisième et quatrième objections. — Par suite de la passe laissée au Nord, l'entrée de la houle dans les bassins sous l'action des vents du N.-O. n'est point discutable, pas plus que les inconvénients qui en sont la conséquence, et la Commission d'enquête a même déclaré que cette passe ne serait presque jamais praticable ; en créant cette ouverture, on a eu pour objet de remédier au ressac qui viendrait se produire dans l'avant-port et en restreindre l'accès en même temps que l'entrée du port de la Joliette, sous l'influence de ce ressac, serait moins praticable. Nous vous avons d'ailleurs indiqué comment on procéderait pour déterminer la largeur de cette passe qui a été maintenue dans le projet définitif du Gouvernement.

Quant aux vœux formulés par la Commission d'enquête, pour augmenter la surface d'eau du bassin en creusant 10 hectares dans l'anse des Catalans et la Plaine-Saint-Lambert, on n'en a tenu aucun compte.

On s'est seulement contenté de donner la communication demandée

entre le nouveau bassin et les ports actuels, par un canal ayant seulement 30 mètres de largeur dans la première partie de son parcours (380 mètres) et 100 mètres dans l'autre, et qui, avec le tracé adopté, nécessitera sans aucun doute la création de nouvelles défenses militaires; les actions de celles existantes se trouvant neutralisées en partie.

Voici d'ailleurs quelques-unes des protestations soulevées par le projet dont nous nous occupons, et que nous citerons textuellement d'après les documents que nous avons sous les yeux.

« Dans la séance des conférences mixtes, M. le Contre-Amiral-« Major de la marine a déclaré qu'il repoussait le projet du Gouverne-« ment parce que les navires n'auront aucune sécurité dans les bas-« sins à cause de l'action du mistral sur les mâtures et du ressac « entrant par la passe Nord[1].

« M. le Directeur des travaux hydrauliques de la marine, pense que « les travaux projetés gêneront l'entrée et la sortie des anciens ports, « que les opérations y seront souvent difficiles et quelquefois impos-« sibles; il demande qu'on ferme la passe nord et qu'on fasse un « large canal de communication avec les anciens bassins[2]. » Nous avons vu qu'en ce qui concerne la passe nord elle a été maintenue; quant au canal nous venons d'en donner plus haut les dimensions qui, dans une petite partie, nous paraissent insuffisantes.

« Le directeur militaire dit que le projet actuel annule les batteries « d'Endoume et du Pharo. Il faudra faire de grosses dépenses supplé-« mentaires pour protéger les nouveaux ports. Il demande que la « jetée soit rapprochée de terre. »

La Chambre de commerce, avant d'émettre un avis, avait eu soin de prendre conseil d'une commission composée de seize marins, capitaines au long cours et un pilote major; à la suite de la délibération, le Président de la Chambre a adressée au Préfet une lettre dont nous extrayons les passages suivants :

« Le projet soumis à l'enquête serait dangereux au premier chef, et « aurait pour effet de détruire la sûreté de la navigation de notre « rade, de rendre plus difficile l'entrée du port de la Joliette et d'en « empêcher l'amélioration. Tel est l'avis des capitaines marins et

1. Voir annexe au procès-verbal de la séance de la Chambre des Députés du 15 mars 1880. — N° 2412, page 7.

2. Voir même document, page 8.

« pilotes que notre Chambre a dû convoquer dans une réunion spé-
« ciale dont nous vous adressons le procès-verbal.

« Au point de vue des intérêts du commerce, le projet présente
« peu d'espaces pour les navires et les surfaces de quais utilisables y
« sont très réduites par rapport à la dépense considérable que l'on va
« faire. Encore ces opérations seront-elles difficiles et quelquefois
« impossibles quand le mistral régnera.

« Par tous ces motifs, la Chambre a décidé de repousser absolu-
« ment le projet présenté par M. l'Ingénieur en chef et actuellement
« soumis à l'enquête[1]. »

Voici maintenant la lettre dont nous avons fait mention un peu plus haut et adressée au Président du Comité des compagnies d'assurances maritimes de Marseille.

« Le projet Bernard, au point de vue de la sécurité de la navigation,
« présente assurément bien des inconvénients que nous allons énu-
« mérer :

« 1° Le projet Bernard place le port projeté à l'extrémité d'un promontoire qui ne peut offrir une sécurité complète aux navires et aux opérations commerciales ; il se trouve exposé à la violence des vents de N. O. très fréquents dans nos parages et présente des passes qui seront difficiles à prendre pour les grands bateaux à vapeur.

« 2° Il supprime une des passes qui donnent accès dans la rade de Marseille (celle entre le Canoubier et les îles d'Endoume). Cette passe est indispensable aux voiliers ralliant les ports de Marseille avec les vents à la partie de l'est, en leur permettant de serrer de très près la côte jusqu'à la pointe du Pharo et atteindre ainsi l'anse de ce nom, où, à bout de bord, ils peuvent laisser tomber une ancre pour être ensuite remorqués à peu de frais dans le vieux port.

« Cette passe offre à tout bâtiment sortant la certitude, quels que soient les événements de mer, de faire route avec une simple voile, après avoir doublé la pointe du Pharo. En la supprimant, les manœuvres qui ont sauvé bien des navires deviennent impossibles. A notre avis, un port ne saurait jamais avoir trop d'aboutissants ; et si la passe entre le Canoubier et les îles des Pendus n'existait pas, il faudrait la créer.

« 3° Le projet Bernard créera, par cette énorme jetée, un danger

1. Voir même document que ci-dessus, page 8.

permanent. Les navires à voiles, remorqués ou non, seront obligés de côtoyer cette jetée dans toute sa longueur, et avec les vents du N.-O., s'il venait à leur arriver le moindre accident, ils seraient infailliblement jetés dessus, ce qui pourrait occasionner une perte totale et sans qu'il fût même possible de porter secours aux équipages et aux passagers. Il en serait de même des bateaux à vapeur par suite d'une avarie quelconque, soit de machine, soit de barre.

« On pourrait nous objecter que les digues des ports nord n'ont occasionné que très peu d'accidents ; la raison est que l'orientation n'est pas la même que celle du port projeté. La digue qu'il est question de créer sera battue perpendiculairement par le vent de N.-O., tandis que celles de ports nord courent dans le même sens que ce vent. En outre, le mouvement des ports à l'entrée et à la sortie des ports Nord par la passe N.-O. est très faible, surtout pour les bâtiments à voiles, tandis que le mouvement du vieux port et des autres ports se fait par les passes du sud, qui, si on venait à les restreindre, selon les indications du projet, pourraient à certains moment se trouver encombrées par les entrants et les sortants et occasionner des abordages.

« 4° Par suite de la configuration de cette jetée présentant toute sa longueur à la direction du N.-O., il s'ensuivra que le renvoi de la mer qui se brisera sur elle, amènera sûrement du ressac dans l'avant-port, dont elle restreindra l'accès et rendra par suite moins praticable l'entrée de la Joliette, en empêchant les navires de venir passer très près de la pointe du Pharo, pour pouvoir se mettre en ligne droite de ce port.

« Toutes ces difficultés seront autant de risques qui exposeront l'assurance maritime à des pertes plus nombreuses que par le passé ; cette situation nouvelle pour les assureurs maritimes sera d'autant plus critique et plus redoutable, que la passe formant entonnoir, des abordages seront à redouter principalement la nuit, soit à la sortie, soit à l'entrée des ports.

« En résumé, comme marins, nous protestons de la manière la plus énergique contre le projet Bernard, qui augmente les risques de la navigation et met en péril la vie des hommes [1]. »

1. Voir *Journal officiel*, compte rendu de la séance de la Chambre des Députés du 11 mars 1881, page 483.

Nous trouvons également la protestation de la *Société de défense du commerce et de l'industrie*, qui revient sur les mêmes observations que celles précédemment indiquées, puis enfin celle de la Compagnie des services maritimes qui, par l'importance même de sa flotte était directement intéressée à la question et dont les conclusions sont identiques, nous avons pensé qu'il était inutile de les rapporter ici, elles se trouvent d'ailleurs reproduites au *Journal Officiel*. (Voir Séance de la Chambre des Députés du 18 mars, pages 557 et 558.)

Nous avons été forcés de développer, peut-être un peu trop longuement, les observations présentées au sujet du projet du gouvernement; mais comme compensation cela nous permettra, dans la suite de ce travail, à n'avoir pas à revenir sur des considérations précédemment exposées que nous n'aurons qu'à rappeler en nous occupant du projet de M. Deshorties.

C. **Projet de Marius-Michel.** — Nous devons toutefois, avant de passer l'examen de ce dernier, donner l'avis émis par la Commission des inspecteurs généraux des ponts et chaussées, sur le projet de Marius Michel, dont nous avons indiqué l'*économie* générale.

La Commission a pensé que les dispositions en seraient très dangereuses pour la navigation des voiliers, et rendrait presque impraticable pour eux, l'entrée du vieux port; de plus, on supprimerait une partie de ce dernier et ce serait certes une mesure très regrettable; enfin, la suppression des forts Saint-Jean et Saint-Nicolas soulèverait de nombreuses difficultés de la part de l'autorité militaire.

Nous ajouterons que les différentes Commissions qui ont eu à s'occuper de la question dont nous avons l'honneur de vous entretenir en ce moment, n'ont point examiné ce projet sur lequel nous n'avons eu que des renseignements très sommaires, et qui nous paraît avoir été abandonné même par son auteur; nous ne retiendrons donc pas plus longtemps l'attention sur ce point.

D. **Projet de M. Deshorties.** — Il n'en est plus de même du projet de M. Deshorties qui a été vigoureusement défendu devant la Chambre des Députés, et qui se présente concurremment avec celui présenté par le Gouvernement, nous devons donc l'examiner, comme nous avons fait pour celui-ci, en soumettant à votre discussion les observations auxquelles il a donné lieu.

Tout d'abord, nous rencontrons celles formulées par l'Administration, qui avait eu à examiner déjà le projet présenté par M. l'Ingénieur en chef du service maritime et soumis à la Chambre; or, sans vouloir en aucune façon mettre en doute l'impartialité de tous ceux qui ont eu à se prononcer sur la question, nous sommes dans la nécessité de constater qu'il y avait là une situation très délicate à trancher, puisque les mêmes ingénieurs se trouvaient être à la fois juge et partie, et en effet, c'est l'ingénieur en chef, auteur du projet du Gouvernement, qui est chargé par M. le Ministre des travaux publics de discuter celui dont il nous reste à vous entretenir.

Nous aurons donc ici à reproduire non seulement les objections signalées par les documents que nous possédons : rapports de M. l'Ingénieur en chef du service maritime et de M. l'Inspecteur général des ponts et chaussées; mais encore les réponses qui ont été faites, ou qui nous paraissent résulter de l'examen même des deux projets.

Les objections présentées contre le projet du Gouvernement s'appliquent dans une certaine mesure, il est de notre devoir de le reconnaître, à ce que nous appellerons le contre-projet. Nous sommes donc amenés à examiner en ce qui concerne ce dernier, celles que nous avons indiquées pour le projet de l'Administration.

Première objection. — Action des vents de N.-O. Il est bien évident que l'action des vents de N.-O. se fera sentir et nous avons indiqué quelles en pourraient être les conséquences; mais la jetée s'infléchissant assez rapidement vers le sud, l'inconvénient sera diminué sans disparaître complètement.

Deuxième objection. — Suppression de la passe du Canoubier. Les documents que nous avons cités vous ont montré l'importance que tous les marins attachaient au maintien de la passe entre le Canoubier et les îles d'Endoume; le contre-projet donne donc, en ce qui concerne, ce point particulier, complète satisfaction aux vœux formulés, et cette deuxième objection disparaît.

Troisième et quatrième objections. — Ressac le long de la digue, passe Nord à l'extrémité de celle-ci.

L'examen des plans montre que, par suite de l'orientation différente de la digue du contre-projet, le ressac se fera moins sentir dans l'avant-port des bassins actuels de Marseille; quant à la passe Nord

de la jetée contre laquelle se sont élevées de nombreuses protestations, elle a été supprimée et la seule conclusion que nous puissions tirer de ce qui précède c'est que, si certains inconvénients se rencontrent dans les deux projets, ils résultent, ainsi que l'a reconnu le rapporteur même du projet du Gouvernement, d'une situation géographique et topographique particulière ; et qu'en cet état, ne pouvant les faire disparaître complètement, il convient d'en diminuer l'importance.

C'est ainsi que dans le projet de M. Deshorties, on a atténué la première et la troisième objections formulées et qu'on a fait disparaître la deuxième et la quatrième, c'est donc là une amélioration qui nous paraît indiscutable ; nous devons d'ailleurs à ce sujet vous faire connaître la lettre adressée au Président du Comité des Compagnies d'assurances maritimes, par les mêmes délégués chargés d'examiner précédemment le projet du Gouvernement ; nous en extrayons les parties essentielles suivantes :

« Tout d'abord nous posons en principe que, considérant la topographie des côtes situées au sud de Marseille, les ports à y établir ne peuvent en aucune façon réaliser les conditions d'accession et de sécurité nécessaires.

« Nous ajoutons que les ports au sud conquis sur la mer, quels qu'ils soient, doivent être mauvais.

« Cependant, étant donné la nécessité de ces ports, nécessité qui nous paraît imposée, il ne nous reste qu'à examiner la valeur des projets en ce moment en concurrence.

« Ces deux projets sont :

« 1° Le projet Bernard ;

« 2° Le projet Deshorties.

« Nous nous sommes prononcés, le 22 juillet dernier, sur le projet Bernard, nous n'avons pas à y revenir.

« Le projet Deshorties nous est communiqué et, dans la situation qui nous est faite d'accepter ou l'un ou l'autre de ces plans, il ne nous reste qu'à examiner lequel des deux est le meilleur.

« Les questions à élucider sont les suivantes :

« 1° Modification introduite dans les passes du port de Marseille par le projet Deshorties ;

« 2° Sécurité intérieure du port en projet.

« Voici, après délibération, l'avis que les soussignés ont l'honneur de vous soumettre :

« 1° La jetée au large ne supprime pas entièrement le passage en ce moment existant entre le Canoubier et la côte; cette jetée, parallèle à la côte, laisse entre elle et le Canoubier un espace de 300 mètres environ, qui nous paraît suffire aux besoins de la navigation.

« Cependant cette jetée, étant encore exposée au mistral, ne supprime qu'imparfaitement le danger créé par la jetée du projet Bernard, danger que nous avons signalé dans notre rapport du 22 juillet 1879. La jetée du projet Deshorties, s'infléchissant assez rapidement vers le sud, diminue ce grave inconvénient, mais ne le fait pas disparaître entièrement.

« 2° Le projet Deshorties, en partie conquis sur les terres dans l'anse des Catalans, nous paraît, sous ce rapport, réaliser les conditions de sécurité nécessaires.

« 3° Les autres surfaces du port exposées au mistral, en seront en partie abritées par les magasins en projet, qui devront être construits sur la jetée du large, jetée dont la largeur sera de 125 mètres environ.

« 4° Le projet Bernard établit une entrée au nord-ouest, qui aura le grave inconvénient de produire du ressac dans le port; il offrira de grandes difficultés à cause du peu d'espace existant entre l'entrée de ce port et le quai qui fait face. Le projet Deshorties supprime cette entrée, ce qui est une amélioration. »

Après quelques considérations relatives aux prix d'établissement de chacun des projets, la lettre se termine ainsi :

« En résumé :

« Étant donnée la nécessité d'opter entre les deux seuls projets en présence, nous estimons que le projet Deshorties est préférable à celui de M. Bernard. »

Nous trouvons également dans une protestation, contre le projet du Gouvernement, formulée par plus de cent pilotes, les observations suivantes.

« En conséquence, les marins et pilotes de Marseille déclarent que, si on choisit les Catalans pour faire des ports sud à Marseille, ils

approuvent l'établissement de ces ports à la condition expresse que ces ports, au lieu d'être conquis sur la mer, soient au contraire pris dans l'intérieur des terres, et qu'au point de vue maritime il leur est tout à fait impossible d'approuver des ports ayant des bassins et digues établis extérieurement sur la mer. »

Ainsi en prenant ce qui nous semblait logique, les objections présentées contre le projet du Gouvernement, et en les examinant à leur tour pour le projet Deshorties, nous arrivons à cette conclusion que, sans être certainement parfait, on a su dans ce dernier éviter certains inconvénients, en atténuer d'autres, donner satisfaction aux vœux formulés par la Commission d'enquête en ce qui concerne la création d'un grand bassin dans la plaine des Catalans, et dans son ensemble ce projet nous apparaît comme préférable au premier et les documents que nous avons cités, provenant de tiers désintéressés nous semblerait devoir appuyer notre conclusion d'une manière formelle.

Nous devons toutefois vous faire connaître, pour bien compléter cette communication et ne pas être accusé de partialité, les objections formulées dans les rapports des Ingénieurs de l'Etat dont nous avons parlé, ce sont les suivantes :

1° Suppression du bassin de carénage.

Le canal qui doit faire communiquer les nouveaux bassins avec le vieux port contourne, dans le projet Deshorties, le fort Saint-Nicolas, auquel on n'aura pas à toucher, et aboutit en effet dans le bassin de carénage, qui est une annexe très utile du vieux port, on serait donc amené, d'après M. l'Ingénieur en chef du service maritime, à construire un deuxième bassin de carénage pour remplacer celui existant.

Il nous paraît, quant à nous, utile de faire remarquer que les opérations dans ce bassin se font toujours le plus près des murs du quai et qu'en cet état, le passage n'étant pas très fréquent, l'inconvénient signalé ne nous paraît pas avoir une grande importance.

2° Suppression de la gare du chemin de fer du vieux port.

Ce n'est pas là, ce nous semble, une objection sérieuse, attendu que cette gare se raccordera tout naturellement et très facilement avec les nouveaux quais des bassins des Catalans; la Compagnie, propriétaire de cette gare, y trouverait un développement de son trafic, elle est

donc directement intéressée, au contraire, à la réalisation de ce projet.

Nous devons d'ailleurs faire remarquer que c'est surtout en ce qui touche les prix d'établissement que la discussion a été des plus vives, et que la plupart des objections formulées dans le rapport de M. l'Ingénieur en chef du service maritime, tendent à prouver que les prix pour la réalisation du projet Deshorties seront très élévés, et qu'ils dépasseront de beaucoup ceux d'estimation que nous avons fait connaître, en donnant la description des travaux projetés dans les deux cas. Nous n'avons certes point la prétention d'entrer dans l'examen détaillé des prix de base formulés de part et d'autre, nous croyons, toutefois, que ceux indiqués dans le contre-projet, et qui ont été examinés par deux grands entrepreneurs de travaux publics travaillant actuellement pour le compte de l'État, doivent être assez proches de la vérité; car les évaluations faites par ces derniers diffèrent assez peu du chiffre de 41,000,000 de francs qui a été indiqué. Nous pensons donc qu'en ce qui touche ces observations ressortant plus spécialement du domaine purement financier, nous aurons simplement à les rappeler, estimant que lorsqu'il s'agit de la création de ports dans notre prémière ville maritime, l'on ne doit hésiter, si cela est nécessaire, de faire quelques sacrifices de plus pour doter Marseille d'aménagements tels que les navires ne continuent pas à donner la préférence à certains ports de l'Italie. Les dépenses qui seront ainsi faites seront fructueuses et rapporteront au pays des bénéfices que nous concevons tous parfaitement, sans qu'il y ait lieu d'insister d'avantage.

Cette digression faite, revenons aux observations que nous avions commencé d'énumérer.

3° Difficulté d'établir les magasins, les hangars, ateliers, etc., au niveau des quais du bassins des Catalans par suite de l'élévation des terrains avoisinants.

4° Acquisition des terrains pour le bassin des Catalans.

5° Communication difficile entre le bassin des Catalans et l'avant-port d'Endoume.

Nous ferons observer ici que ce canal de communication a une largeur de 130 mètres au plan d'eau, et en cet état nous estimons qu'en ce qui touche les manœuvres qui peuvent être faites, elles ne

seront nullement gênées, ce ne nous semble donc point être un inconvénient sérieux.

6° Avant-port d'Endoume défectueux avant que l'on fasse les bassins de l'Oriol.

Cet avant-port est, en effet, exposé aux vents du sud et du sud-ouest, et, dit M. l'Ingénieur en chef du service maritime, sa digue extérieure n'est pas assez longue, de plus, les dimensions de cet avant-port sont trop restreintes. Nous ferons simplement observer que les bassins de l'Oriol sont la conséquence directe du projet Deshorties, puisque l'on utilisera ainsi les déblais provenant du bassin des Catalans; quant à la digue trop courte, il est facile de la prolonger et de modifier un peu sa direction; enfin les inconvénients résultant de l'action des vents du S. et S.-O nous paraissent devoir se présenter également dans l'avant-port du projet du Gouvernement.

7° Mêmes inconvénients que ci-dessus, lorsque le bassin de l'Oriol sera fait.

L'observation que nous rappelons ici vient d'être discutée précédemment, il est donc inutile d'y revenir; car les difficultés que l'on paraît craindre ne nous paraissent pas devoir être bien grandes.

Enfin, on estime que le bassin de l'Oriol ne sera pas exempt de défaut, et l'on ajoute que les bâtiments venant du sud auront à le franchir pour se rendre aux Catalans. Il nous semble qu'ici une erreur a été évidemment commise, puisque les navires pourront toujours entrer directement par le port d'Endoume, ainsi que l'indique le plan, sans avoir à franchir le bassin de l'Oriol.

Quant à l'avant-port de ce dernier bassin, on trouve que sa digue extérieure n'est pas assez longue et qu'elle est encore trop dirigée vers le sud; ce défaut a déjà été signalé en ce qui touchait l'avant-port d'Endoume, et il est très facile d'y porter remède.

On trouve enfin que la distance du bassin de l'Oriol à La Bourse est plus grande que celle existant pour les bassins du nord, mais nous estimons qu'avec les moyens nouveaux dont on dispose : télégraphe, chemins de fer, etc., l'objection perd la plus grande partie de sa valeur.

Pour terminer, nous ajouterons que le rapport de M. l'Inspecteur général des ponts et chaussées, qui a examiné le projet Deshorties, ne

fait que répéter les mêmes objections que nous venons d'examiner succinctement, nous n'avons donc point à nous y arrêter davantage. Enfin dans l'avis du Conseil général des ponts et chaussées, ne faisant qu'approuver les conclusions prises contre le contre-projet, nous trouvons quelques renseignements qu'il nous a paru très intéressant de rappeler ici.

En effet, voici ce que nous trouvons dans le document dont nous parlons :

« Plusieurs membres font observer que la digue extérieure offre « moins de danger dans le contre-projet que dans le projet du Gou- « vernement pour les navires qui, après avoir manqué l'avant-port de « la Joliette, sont entraînés par le mistral vers le sud-est. »

Et plus loin :

« Deux membres expriment l'idée que pour pouvoir comparer les « deux projets au point de vue de la dépense, il importe de faire « connaître les frais de remaniement que chacun d'eux entraînerait « dans les ouvrages de la défense du port de Marseille. Ces frais « paraissent devoir être considérables, d'après les observations « échangées avec le génie militaire au sein de la Commission mixte « des travaux publics; ils augmenteront, dans une très notable « proportion, l'estimation des travaux prévus par le service civil et « l'étendue des sacrifices qui finalement retomberont à la charge de « l'État. Comme ils seraient moindres dans le contre-projet, une com- « paraison un peu rigoureuse exigerait qu'on sût à quoi s'en tenir à « cet égard. »

Nous n'ajouterons rien à ces deux citations qui montrent que le contre-projet, sans être parfait, présentait de réels avantages, ce qui nous paraît d'ailleurs devoir résulter de tous les documents que nous avons tenu à vous faire connaître, afin de rendre plus complète la discussion d'une question qui nous intéresse à tous égards et que nous ne saurions laisser de côté.

TROISIÈME PARTIE

PROJET PRÉSENTÉ A LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS.

Lorsque nous avons commencé le travail que nous venons d'exposer nous avions simplement pour but de faire connaître à la Société les projets qui avaient été soumis à la discussion du parlement, mais ayant été appelé à nous occuper plus particulièrement de la question, nous tenons à le compléter en indiquant le nouveau projet présenté à la Société par M. Marché, dans sa séance du 6 mai dernier.

Nous saisirons d'ailleurs l'occasion qui nous est offerte, en complétant ici même les renseignements que nous avons donnés précédemment sur la ville de Marseille considérée au point de vue maritime.

Il y a à peine 30 ans, le nombre des navires tant à voiles qu'à vapeur, attachés au port de Marseille atteignait le chiffre de 705 avec un tonnage de 66.946 tonnes; en 1876, on trouve pour ce même port 713 navires ayant un tonnage de 203.979 tonneaux; ces deux chiffres montrent l'accroissement considérable du tonnage des bâtiments attachés à notre première ville maritime et sont une preuve du développement important qu'elle a pris, dans un nombre d'années relativement restreint. — Si nous prenons maintenant ceux du mouvement général de ce port, nous constatons également un accroissement continu de 100.000 tonnes par an, voici du reste les renseignements à ce sujet :

Années.	Marchandises.	Tonnage des navires.
1867	2.625.471 tonnes.	4.012.192 tonneaux.
1879	3.795.220 »	6.494.202 »

On conçoit donc que dans de telles conditions, il soit absolument indispensable de songer à l'avenir, dans le but de donner à Marseille des aménagements capables de pouvoir suffire à toutes les exigences d'un trafic toujours croissant, et maintenir une suprématie commerciale et maritime, que quelques villes de la Méditerranée cherchent à lui disputer.

C'est là une question d'un intérêt capital pour le pays, éminemment patriotique et que tous, sans distinction d'opinion ni de parti, nous devons apprécier ainsi qu'elle le mérite.

Pour satisfaire à ces exigences que nous venons d'indiquer, le Gouvernement avait, en 1879, pris l'initiative de présenter un projet au parlement; projet que nous avons fait connaître dans la première partie de ce travail.

Celui que nous avons l'honneur de présenter a également pour objet la création de bassins au sud et a été dicté par les mêmes causes. Question complexe, il faut se hâter de le dire et de le reconnaître, et pour la solution de laquelle bien des éléments doivent intervenir; éléments de nature essentiellement différente, qu'il convient néanmoins de combiner ensemble pour donner satisfaction à la fois aux marins, aux commerçants, aux industriels. Il ne suffit pas en effet pour créer un port d'avoir une surface d'eau entourée de quais accostables aux bâtiments, il faut encore que les manutentions de marchandises puissent se faire avec toute la célérité et l'économie possible; il faut arriver à une capacité de rendement *maximum* pour que le chargement et le déchargement soient faits rapidement, et enfin comme condition essentielle, il faut avoir un centre industriel, commercial, qui attire pour ainsi dire les navires en leur assurant toujours le fret qui leur est indispensable.

Or, nous sommes dans la nécessité de constater que les aménagements de nos ports laissent à désirer par rapport à ceux de l'étranger; fait d'ailleurs bien excusable attendu que là, comme pour les chemins de fer, on est arrivé à des chiffres dépassant de beaucoup les prévisions les plus optimistes, mais aujourd'hui que nous avons des données d'expérience plus complètes, plus précises, il faut savoir ne pas les négliger; nous devons, au contraire, en tenir grand compte et améliorer de la manière la plus parfaite possible ce que nous pouvons appeler notre outillage national.

En ce qui concerne la question qui nous occupe, cette nécessité d'amélioration a été nettement formulée par la Chambre de commerce en 1878, pour les bassins du nord, elle s'exprimait ainsi dans une lettre adressée à M. le Préfet du département.

« Cette nécessité s'impose d'autant plus que l'état d'avancement des « travaux des nouveaux bassins exige qu'on s'occupe, dès à présent, de « déterminer par une *étude d'ensemble*.

« 1° La direction à donner aux voies ferrées sur nos quais et môles
« pour les raccorder avec la gare de la Joliette agrandie, en évitant
« les plaques tournantes à l'entrée des deux môles de l'abattoir et du
« cap Pinède. »

« 2° Les installations et l'outillage les plus propres à rendre à la
« fois économiques et rapides les opérations d'embarquement et de
« débarquement des marchandises. »

Et plus loin, nous trouvons :

« La Chambre est d'avis qu'il y a lieu de demander l'étude des
« travaux relatifs à la création de nouveaux bassins au sud, en faisant
« remarquer que cette étude devra être faite dès à présent, en même
« temps que l'on s'occupera de l'amélioration de la passe sud, dont
« il est question précédemment, de manière à ce que les travaux exé-
« cutés pour l'amélioration de cette passe ne gênent en rien et facilitent
« même l'exécution de nouveaux bassins au sud. »

C'est en nous inspirant de ces considérations précieuses à retenir et à connaître, et en tenant compte des questions d'aménagements qui font partie intégrante d'un port que nous avons étudié notre avant-projet, dont l'économie générale est la suivante; il comprend deux parties distinctes, savoir :

1° Bassins des Catalans et canal maritime.

2° Bassin de l'Oriol.

I. Bassin des Catalans et canal maritime. — Notre projet établit un bassin de $36^{h},68^{a},98^{c}$ dans la plaine des Catalans à l'abri des collines de la réserve et du fort Saint-Nicolas ; un canal contournant ce dernier ouvrage donne la communication entre ce bassin et celui du carénage par suite avec le vieux port.

A partir de la pointe du Pharo, une jetée de 100 mètres de largeur contourne la côte à une distance de plus de 200 mètres de façon à faire un large canal de 150 mètres servant d'entrée au port des Catalans; à partir du rocher des Pendus, la jetée se rétrécit et se dirige ensuite au sud et au sud-sud-est, donnant ainsi une surface d'eau de 4 hectares 62 ares. (Voir planche n° 36.)

II. Port de l'Oriol. — Le port de l'Oriol s'étend depuis l'anse d'Endoume jusqu'au-dessous et en face de la batterie du Roucas-Blanc.

Il est formé par une jetée extérieure parallèle à la côte à une distance d'environ 500 mètres et dont la longueur est de 1,400 mètres; six môles inclinés d'une largeur de 60 mètres et espacés de 80, remplacent les traverses que nous trouvons dans les ports du Nord, facilitent les manœuvres et donnent ainsi un développement plus considérable de quais accostables aux navires; l'extrémité des môles intérieurs est distante de 250 mètres de la digue de défense extérieure, et permet ainsi le passage facile des navires tant à l'entrée qu'à la sortie; la surface d'eau de ce bassin est de 71 hectares 22 ares 6 centiares (Voir planche n° 37).

Enfin le projet est complété par des formes de radoub, placées à hauteur des îles d'Endoume, c'est-à-dire à peu près au milieu entre le bassin des Catalans et l'avant-port Sud de l'Oriol.

Quant aux aménagements ils nous semblent suffisamment indiqués sur les plans qui accompagnent cette note pour nous dispenser d'avoir à les décrire ici; nous nous bornerons simplement à faire remarquer que la première voie, la plus proche du bord des quais ou môles, est destinée à des grues roulantes de manière à obtenir partout une manutention mécanique rapide; quant aux voies ferrées proprement dites, elles communiquent toutes entre elles sans l'intermédiaire de plaques tournantes; des chariots roulants faciliteront d'ailleurs le service des wagons entre les différentes voies.

Les tableaux suivants qui donnent un détail de tous les aménagements que nous avons prévus, permettront facilement de se rendre compte du service auquel on pourra donner satisfaction alors que toutes les installations seront terminées.

I. — Port proprement dit.

DÉSIGNATION DES LIEUX.	LONGUEUR TOTALE DES QUAIS.	LONGUEUR DES QUAIS ACCOSTABLES.	SURFACES D'EAU.	OBSERVATIONS.
Port des Catalans...	3.782m	2.860m	36h 68a 98c	
Canal maritime.....	1.200m	1.200m	4h 62a 00c	
Port de l'Oriol.....	7.960m	6.230m	71h 22a 06c	Non compris la surface de l'avant-port.
Totaux.....	12.942m	10.290m	112h 23a 04c	

II. — Aménagements divers. — Quais de chargement, hangars, voies ferrées.

DÉSIGNATION DES LIEUX.	QUAIS DE CHARGEMENT DÉCOUVERTS (1).		HANGARS.		VOIES FERRÉES.		LONGUEUR DES QUAIS ACCOSTABLES.
1° Bassin des Catalans et canal maritime jusqu'à l'entrée des bassins de l'Oriol (quais intérieurs).....	15.080m²	15.080m²	10.010m²	10.010m²	12.500m	12.500m	2.260m
2° Bassins de l'Oriol.							
Môle........ 1.........	1.000		1.300		2.730		
» .... 2.........	2.025		2.632		1.860		
» .... 3.........	1.950		2.435		1.880	11.340	
» .... 4.........	1.700	13.875	2.210	13.545	1.850		4.830
» .... 5.........	1.600		2.080		1.680		
» .... 6.........	1.600		2.080		1.340		
Quai entre le môle n° 6 et les bassins de radoub..................	4.000		808		11.000 (2)	11.000	
Totaux.......		28.955		23.555		34.840	7.090
3° Quais extérieurs du bassin des Catalans jusqu'à la pointe du Pharo	»	3.140	»	1.430	»	2.000	600
		32.095		24.985		36.840	7.690
		57.070m²					
4° Digue extérieure du canal maritime, depuis la pointe du Pharo, dans la partie ayant 100 mètres.	»		39.000		»	4.300	1.200 (3)
5° Digue extérieure du port de l'Oriol......................	»		Mémoire.		»	Mémoire.	1400m

OBSERVATIONS.

(1) Nous comptons seulement dans ces surfaces les quais construits élevés à 0m.90 au-dessus du sol.

(2) Ce chiffre s'applique aux voies ferrées des quais autres que celles des môles.

(3) Dans la partie de 100 mètres de large considérée seulement commé accostable.

III. — **Services annexes. — Bâtiments pour docks. — Magasins, etc.**

DÉSIGNATION.	DIMENSIONS.	SURFACES.	
	PORT DE L'ORIOL.		
A	250 × 15 =		3.750m²
B	160 × 15 =		2.400
C	160 × 30 =		4.800
D	120 × 40 =		4.800
E	120 × 40 =		4.800
F	140 × 20 =		2.800
	110 × 20 =		2.200
H	50 × 80 =	8.600m²	4.000
	60 × 40 =		2.400
		Total...	31.950m²
	PORT DES CATALANS ET CANAL MARITIME.		
I	200 × 25 =	5.000m²	
J	225 × 25 =	6.625	
K	200 × 25 =	5.000	
L	200 × 25 =	5.000	
M	160 × 25 =	4.000	
N	192 × 25 =	4.800	
			30.425m²
		Ensemble.........	62.375m²

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

SÉANCES-VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

PROCÈS-VERBAL DE LA 1re SÉANCE-VISITE

tenue le Vendredi 23 Septembre 1881

dans la Salle de Lecture (Palais de l'Exposition de l'Électricité)

PRÉSIDENCE DE M. ERNEST MARCHÉ, *vice-président.*

La séance est ouverte à dix heures.

M. MARCHÉ, fait connaître à la réunion, que l'un de nos membres les plus distingués, M. le docteur William Siemens, de Londres, présent à Paris, a bien voulu accepter la présidence honoraire de cette première séance.

Il ajoute que c'est une bonne fortune pour la Société de faire son entrée à l'Exposition sous le patronage et la direction du savant dont le nom, illustré par lui et les siens, est attaché à tous les progrès réalisés depuis vingt ans en Métallurgie, en Électricité et en Lumière.

M. W. Siemens prend place au fauteuil aux applaudissements de l'auditoire.

PRÉSIDENCE DE M. W. SIEMENS.

M. LE PRÉSIDENT, avant de remercier la Société de l'honneur qui lui est fait, donne la parole à M. Marché, pour exposer le but et le programme des séances-visites.

M. MARCHÉ s'exprime ainsi :

Vous savez, Messieurs et chers Collègues, qu'une commission composée des membres du comité formant la 4e section « Physique et Chimie » et de ceux des membres de la Société, qui se sont fait inscrire pour en faire partie, a été chargée d'étudier l'Exposition d'électricité, de résumer les faits saillants dans divers rapports analogues à ceux présentés lors des

Expositions universelles de 1867 et de 1878, et de mettre la Société en mesure de discuter dans ses séances ordinaires de cet hiver les questions les plus importantes soulevées dans ce concours international.

Cette commission, tout en acceptant la mission dont M. le Président de la Société l'a chargée a, dès sa première réunion, constaté que le caractère spécial de l'Exposition lui faisait un devoir d'associer à ses travaux tous les membres de la Société.

On ne peut, en effet, procéder à l'examen des Appareils, qui figurent à l'Exposition, sans être guidé par les spécialistes et sans avoir été remis en pleine connaissance de tous les principes de physique sur lesquels ils sont basés.

Nous avons donc pensé que tous les membres de la Société seraient heureux de se réunir ici quotidiennement pour entendre, dans une série de conférences ou de communications, l'exposé des données principales, concernant le magnétisme et l'électricité, et de visiter ensemble les machines les plus remarquables, sous la conduite de ceux de nos Collègues qui les ont conçues ou appliquées.

Nous avons cru aussi que la grande majorité des membres de la Société habitant la province et l'étranger, trouveraient avec plaisir dans nos comptes rendus les procès-verbaux de nos séances spéciales à l'Exposition, qui leur permettraient, pour ainsi dire, de voir, de comprendre et de juger avec nous, l'ensemble des magnifiques progrès réalisés, en un quart de siècle, dans l'asservissement de ce puissant et mystérieux agent de la nature qui a nom l'Électricité.

Non seulement notre Société compte parmi ses membres la plupart des électriciens français auxquels sont dues les applications les plus remarquables de l'électricité, réalisées dans ces dernières années, mais encore elle a, dans son travail collectif des séances, abordé, au fur et à mesure de leur apparition, l'examen et la discussion de toutes ces applications.

Qu'on feuillette le recueil de nos comptes rendus et on verra que, depuis la remarquable et originale communication que nous fit, il y a vingt ans, notre ancien président, M. Love, sur l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière et l'électricité, toutes les solutions industrielles fournies par l'électricité ont été soumises à nos discussions.

Permettez-moi de vous rappeler les communications faites sur la télégraphie par MM. Martin et de Branville, en 1858; par M. Vinchent, en 1864 et M. Armengaud, en 1879; celles relatives à l'électricité appliquée à l'exploitation des chemins de fer par MM. Bonnaterre, Tronquoy, Goschler, en 1866, et M. Lartigue, en 1873 et 1877; celles concernant l'éclairage par M. Fontaine, en 1877; la téléphonie par MM. Niaudet, Fichet, Armengaud, en 1877, 1879 et 1880; les freins électriques par M. Achard, en 1880.

Laissez-moi vous citer encore un grand nombre de notes de MM. Barrault, Thevenet, Gallaud, Limet, Duroy de Bruignac, Lockert, etc., sur les piles,

les avertisseurs, la locomotive électrique, les machines magnéto-électriques, etc., sans oublier le plan d'une Exposition universelle d'électricité dont notre collègue, M. Armengaud, nous exposait les bases en 1876.

Notre passé donc, Messieurs, nous donne notre droit de cité à l'Exposition et y justifie notre présence.

Quant à l'avenir, l'électricité est dans cette phase de transition de la théorie scientifique aux applications industrielles qui l'amène forcément dans le domaine de l'ingénieur. Il faut aujourd'hui, pour assurer la réalisation pratique de toutes les applications proposées, donner foi et confiance aux industriels et aux ingénieurs, leur permettre de relier les lois et les données relatives à l'électricité aux données de la mécanique qui nous sont familières, et faire intervenir les considérations de prix de revient qui sont la pierre de touche de toute innovation sérieuse.

Vous savez que la fixation des unités électriques fait l'objet principal des travaux d'un Congrès international composé des délégués de tous les pays exposants.

Tout en exprimant le regret que la Société des Ingénieurs civils n'aie pas été appelée, dans la personne de son Président, à figurer parmi les délégués français, nous devons nous féliciter de ce qu'un certain nombre de nos Collègues y aient été désignés par leurs titres personnels, et nous comptons qu'ils voudront bien nous tenir au courant des décisions qui y seront prises.

D'ailleurs, Messieurs, il se présente, pour ceux d'entre nous qui tiennent à être au courant du grand mouvement d'idées et de travaux que l'électricité suscite en ce moment, une occasion favorable de s'associer à ce mouvement. La Chambre syndicale des électriciens organise, en effet, sous le nom de Meeting des électriciens, un Congrès libre, ouvert non seulement aux électriciens, mais aussi à tous les industriels et à tous les ingénieurs qui, à un titre quelconque, aspirent à s'instruire et à s'édifier sur la valeur pratique des machines qui produisent ou utilisent l'électricité.

Nous ne saurions trop engager nos Collègues à adhérer à cette œuvre utile et à participer aux travaux de ce Congrès, dont, soit dit entre parenthèse, le Comité d'organisation est présidé par notre dévoué collègue, M. Armengaud, et qui doit siéger à dater du 8 octobre prochain.

Je dirai, en terminant, que pour rendre nos visites fructueuses et nos procès-verbaux intéressants, nous avons besoin du concours de tous ceux de nos Collègues qui ont fait de l'électricité l'objet de leurs études et de leurs travaux, et que nous espérons que notre appel à tous les bonnes volontés sera entendu.

M. Le Président prononce ensuite le discours suivant :

Messieurs, grâce à votre aimable invitation, je me trouve dans ce mo-

ment dans une position bien honorable, pour laquelle je vous offre mes remerciements sincères.

Cette position m'impose pourtant un devoir, que je me sens peu capable de remplir, attendu que ma connaissance de votre langue est trop limitée et que le temps m'a manqué pour préparer un discours, tel que j'aurais voulu vous l'adresser. Aussi, je compte sur votre indulgence qui, je l'espère, ira même au delà de votre courtoisie.

En vous adressant cependant quelques mots, avant que vous vous mettiez à votre œuvre d'examen soigneux, permettez-moi de vous féliciter sur le succès éclatant de cette Exposition, œuvre française, qui fera époque dans l'histoire du progrès intellectuel et industriel. Cette réunion remarquable de tout ce qui représente le progrès dans cette branche la plus jeune de l'industrie, a déjà attiré à Paris, le Congrès international d'électricité, composé des hommes les plus illustres dans les sciences physiques de tous les pays civilisés. Ce Congrès semble destiné à fournir des bases solides pour le développement futur de l'électricité, soit comme science, soit dans son application à l'industrie.

Je vous félicite encore, Messieurs les membres de la Société des Ingénieurs civils, d'avoir reconnu l'importance de cette Exposition, par rapport à votre profession et d'avoir institué ces séances-visites, qui vous donneront des occasions précieuses de vérifier les déclarations théoriques, par les expériences et même par une pratique comparative.

Messieurs, il est inutile d'insister devant vous sur le rôle important que l'électricité va jouer dans presque toutes les branches de l'industrie.

Vous savez ce qui a été accompli par la télégraphie électrique, et quelle influence bienfaisante l'introduction des divers systèmes de signaux a eue sur nos chemins de fer. Aujourd'hui, quand tous les pays du monde se couvrent de plus en plus de réseaux de voies ferrées, et que, de plus, le nombre et la rapidité des trains qui les parcourent augmentent de jour en jour, le télégraphe électrique est une nécessité absolue; et cependant l'Exposition nous fait sentir que même dans cette application, la plus ancienne, il reste encore bien des progrès à faire.

Le membre le plus jeune dans la famille de l'électricité, c'est le téléphone. Cet instrument à la fois extrêmement simple et ingénieux, qui combine, dans sa simplicité, toutes les lois les plus compliquées de l'électricité, se présente dans l'enceinte de ce palais dans un état de perfectionnement vraiment étonnant. Ceux qui ont déjà eu occasion d'entendre ici, dans ce bâtiment, les sons compliqués de l'Opéra, ont dû juger et apprécier quel énorme progrès nous avons devant nous, et il me semble que nous ne sommes pas encore au bout dans cette direction remarquable.

Hier soir, M. Mercadier nous a entretenus (les Membres de la Société des Électriciens Anglais), de nouvelles recherches extrêmement intéressantes, qui augmentent de beaucoup le nombre de *phones*, que nous avons déjà. Au téléphone, au microphone et au photophone, M. Mercadier a ajouté le radiophone, le thermophone et l'électrophone; tous ces appareils qui, du

reste, sont extrêmement simples dans leurs détails, se rapportent à des influences primaires et de différents genres. Dans l'un, le téléphone, c'est la vibration de l'air qui est cause de la transmission des sons, de la voix. Dans le photophone, c'est le sélénium qui, par sa propriété remarquable de changer sa conductibilité à mesure que la lumière plus ou moins intense le frappe, fait fonctionner l'appareil. C'est un appareil qui a déjà été présenté par M. Bell, il y a un an. Le microphone, imaginé d'abord par MM. Hughes et Edison, est un appareil qui nous donne la faculté d'augmenter merveilleusement l'importance des signaux transmis par le fil électrophone. M. Mercadier ajoute des *phones* qui reçoivent la force motrice par les rayons de la chaleur, ou bien de la couleur, dans le spectre de la lumière électrique.

En nous adressant à une autre branche des objets exposés dans cette enceinte, nous trouvons la lumière électrique, qui occupe une place considérable dans cette exposition. Il est évident que la lumière électrique n'est plus un essai, c'est une réalité bien positive, soit que la lumière électrique se présente sous la forme de grands foyers de 500 à 10,000 bougies ou de 50 à 1,000 carcels, soit qu'elle se présente sous une forme plus ou moins divisée, comme lumière produite par des courants de sens contraire, des courants alternatifs, ou comme une petite lumière produite par le carbone incandescent, comme dans les appareils de MM. Swan, Edison, Maxim, Lane Fox; tout cela démontre que l'électricité est applicable à l'éclairage non seulement de nos places publiques et de nos rues, mais aussi des grands appartements et même des petits, tels que salles à manger et autres. Et, comme suite de cette application, il y a cet immense avantage en faveur de l'électricité, c'est qu'il n'y a pas de produits de combustion; quoique la source de lumière, dans la lampe électrique, soit même beaucoup plus chaude que la source du bec de gaz; cependant, suivant le calcul que j'ai fait, la quantité de chaleur produite pour une quantité donnée de lumière produite, est théoriquement d'environ 10 pour 100 de celle que produirait le gaz pour la même intensité lumineuse, c'est-à-dire que, pour donner une lumière voulue, nous aurions, par le gaz, une production de chaleur dix fois plus considérable que par la lumière électrique.

Outre cela, il y a la question des produits de la combustion qui vicient l'atmosphère, et dont la lumière électrique est exempte.

Cependant, je ne suis pas de ceux qui disent que le gaz est tout à fait éclipsé, et que les usines à gaz n'ont plus qu'à fermer leur établissement. Je crois, au contraire, que nous sommes au début d'une période d'augmentation énorme de l'usage du gaz. Quand il s'agit d'obtenir la lumière par le gaz, nous trouvons qu'un mètre cube de gaz brûlé dans un bec ne produit qu'un dixième de la lumière totale qu'il produirait si le même mètre cube de gaz était brûlé dans une machine; ou autrement que la combustion du gaz dans un moteur donnerait une énergie de lumière dix fois plus considérable que si le même mètre cube de gaz était brûlé

dans un bec. Cela démontre que la véritable place, pour le gaz, est l'intérieur des cylindres et non pas le bec. En faisant ce changement, le gaz nous sera nécessaire comme auparavant; seulement, nous aurons une lumière beaucoup plus intense à meilleur marché. (*Applaudissements.*)

Il y a plusieurs autres applications pour le gaz qui, je l'espère, feront leur chemin, maintenant que l'attention des ingénieurs et des consommateurs de gaz est dirigée dans cette voie. Le gaz est le combustible le plus avantageux : 1 kilogramme de gaz produit six fois plus de calorique que 1 kilogramme de houille. Si l'on veut obtenir le même degré de chaleur avec un minimum de combustible, il est donc plus avantageux de se servir du gaz que d'un combustible solide.

En outre, le gaz ne produit pas d'ordures, il ne produit pas de cendres, il ne produit pas de fumée. Il y a encore un autre avantage : le transport du gaz est meilleur marché que le transport de tout autre combustible; il est plus commode, surtout dans nos rues déjà trop encombrées par le trafic ordinaire. Le combustible, il faut l'apporter de l'embarcadère à la maison, le descendre à la cave, et ensuite le porter encore de la cave dans l'appartement, puis après porter les cendres au dehors : tout cela représente une dépense totale énorme, si on la multiplie par le nombre des maisons, dans un grand centre comme Paris, par exemple; tandis que le gaz, une fois établi, n'a pas tous ces inconvénients et coûte très peu : on n'a à s'occuper que de l'entretien des tuyaux, qui durent bien longtemps. Je crois donc qu'à l'avenir la consommation du gaz ira graduellement de plus en plus en augmentant; tandis que, pour l'éclairage de nos grands appartements et de nos rues, la lumière électrique sera la lumière ordinairement employée, le gaz prendra la position plus modeste de donner la lumière à nos passages, nos cuisines, nos petits appartements; pour tous ces besoins accessoires, le gaz a un grand avantage : on peut ouvrir le robinet à moitié, au quart, et à réduire ainsi la consommation du gaz, en diminuant, suivant les besoins, l'intensité de la lumière.

Une autre application de l'énergie électrique, qui n'est pas encore aussi développée que la lumière électrique, mais qui, je crois, jouera un rôle plus important, c'est la transmission de la force motrice par l'électricité. Vous savez que, dernièrement, des efforts ont été faits dans plusieurs directions pour transmettre la force motrice d'un endroit à un autre au moyen du fil électrique. Il y a, dans ce bâtiment, une foule d'applications qui montrent les moyens qui se présentent à l'ingénieur pour employer ce nouveau moteur à diverses applications. Nous avons non seulement des machines de toute espèce mises en mouvement par le courant électrique, nous avons aussi un chemin de fer qui marche avec une machine dynamo-électrique et qui démontre qu'aussi, pour la locomotion, ce moteur sera applicable.

Je dois dire qu'il ne faut pas s'imaginer que pour nos grands chemins de fer, la machine à vapeur sera jamais remplacée par le moteur électrique;

ce n'est que pour les tramways et les petits chemins qu'on pourrait transporter la force d'un centre dans un autre par la voie de l'électricité.

Dans la transmission de la force motrice par l'électricité, il y a nécessairement une perte : cette perte s'élève à peu près à 50 pour 100; nous avons obtenu jusqu'à 60 et 70 pour 100 de rendement; mais, en pratique, il ne sera pas sage de dire que la force obtenue à l'extrémité d'une ligne de dix kilomètres de longueur, par exemple, sera plus de 50 pour 100. Mais ce résultat n'est nullement défavorable; les 50 pour 100 ne représentent pas seulement les forces perdues dans la machine électrique, mais l'ensemble des forces perdues dans la transmission.

Dans une machine électrique, la force perdue n'est que d'un dixième, c'est-à-dire qu'une machine dynamo-électrique donne dans le courant 90 pour 100 du travail fourni par le moteur. Mais pour transmettre la force motrice par un moyen mécanique, pour transporter cette force, il y a des pertes dans la transmission. Il y a d'abord une perte dans les conducteurs, il y en a une seconde dans le frottement, dans les coussinets. Il y a une troisième perte dans l'échauffement des fils; une quatrième, dans la transmission du courant électrique, et une cinquième perte pour transmettre cette force dans la machine pour donner son effet utile. Ces cinq sources de perte ne représentent que 50 pour 100 de la force totale : cela veut dire qu'il n'y a pas de perte énorme dans aucun de ces points.

Mais si on veut transmettre une force motrice par l'hydraulique ou l'air comprimé, on doit dépenser au moins les 50 pour 100; mais il y a cet avantage, dans la transmission électrique, que cette perte ne dépend pas autant de la distance; on peut très bien faire transmettre une force électrique à une distance de 10, 20 kilomètres, à travers un conducteur d'une certaine importance, sans augmenter les pertes; et il y a cet avantage encore, que le fil électrique, pour transmettre la force, est très bon marché, en comparaison des tuyaux à air ou des tuyaux hydrauliques.

Je puis mentionner ici une application que j'ai faite dernièrement dans ma petite ferme d'Angleterre. J'ai un moteur central pour faire travailler la ferme. Ce moteur à vapeur donne le mouvement, soit à des machines, dans une partie de la ferme, pour faire couper le foin, le bois; soit, dans un autre endroit, un kilomètre plus loin, pour pomper l'eau. Je dois aussi appliquer la même force pour labourer, application, du reste, déjà faite en France, sous le contrôle de M. Tresca, qui a publié des résultats très intéressants. Quoique je perde 50 pour 100 de transmission, je trouve encore de grands avantages dans ce système : je brûle beaucoup moins de charbon qu'en mettant des petites machines partout pour faire le travail. Ma machine marche toute la journée, à présent pour utiliser toutes les forces, la pompe plus loin commence à marcher, personne ne s'en occupe, c'est dans un endroit fermé à clef, et on pompe l'eau à un kilomètre plus loin. Il n'y a qu'un seul homme qui fait tout le travail et qui s'occupe des chevaux et des soins de la ferme. C'est une économie remarquable.

Pour employer la même force pendant la nuit, j'ai fait une application qui a excité un peu l'intérêt des savants : c'est d'étudier l'influence de la lumière électrique sur la végétation. Je puis avoir des pêches, des fraises et autres fruits annuels, l'hiver, autant que pendant l'été : c'est un fait bien remarquable, et je crois que, jusqu'à présent, ce n'est qu'un essai ; le temps viendra où les horticulteurs en tireront un grand parti, surtout si on combine l'horticulture avec l'agriculture.

On peut encore utiliser la chaleur de la vapeur perdue, qui se condense dans un calorifère, et obtenir, par ce calorifère, le chauffage de la maison, de sorte qu'on ne perd rien.

Par la lumière électrique, on peut produire des fruits, en hiver, d'un arôme tout à fait exceptionnel, et je suis bien aise de voir dans ce bâtiment, un essai qui s'est produit dans cette même direction. J'ai observé qu'une erreur, qui avait été faite, a été rectifiée depuis deux jours. On avait mis les foyers électriques à nu et j'ai constaté, comme je l'ai dit dans le mémoire que j'ai présenté sur ce sujet, que la lumière électrique, quoiqu'elle puisse être très utile pour l'agriculture, a un effet détruisant pour la plante, quand celle-ci y est exposée directement. Ce sont les rayons de haute intensité, ultra-violets, qui ont cet effet destructeur. J'ai constaté, en mettant devant une plante opposée à un foyer électrique un morceau de verre couvrant la plante à moitié, j'ai constaté, dis-je, que le verre transparent absorbe tous les rayons ultra-violets, qui sont nuisibles pour les plantes ; et je ne doute pas que dans ce bâtiment, on n'observe une grande différence dans les résultats qu'on obtiendra, maintenant qu'on s'est aperçu de cette erreur et qu'on a recouvert les foyers électriques par un globe transparent.

Une autre question bien intéressante pour le physiologiste botanique, c'était de savoir si une plante peut travailler toujours, jour et nuit. L'opinion des botanistes était plutôt en faveur de la nécessité d'un sommeil pour la plante ; mais les résultats obtenus, qui s'étendent déjà à deux années, démontrent que la plante n'a pas besoin de repos sauf le repos d'hiver, et que, par exemple, des pois plantés aujourd'hui, peuvent pousser, atteindre leur complet développement et produire des pois mûrs, sans aucun repos.

Messieurs, je crains d'être resté trop longtemps (*Non ! non !*) sur cette utile application dans laquelle j'ai cru qu'il y avait un intérêt spécial, mais je l'ai expliqué avec tant de détails pour démontrer que l'énergie électrique s'applique presque partout, et que, par elle, une nouvelle voie s'ouvre à l'ingénieur pour diriger les forces de la nature dans un sens qui n'était pas connu auparavant ; j'ai voulu montrer que nous avons devant nous un travail énorme, mais énormément intéressant à accomplir. Je dois féliciter votre Société du pas que vous avez fait et de la résolution que vous avez prise d'étudier ces phénomènes intéressants et nouveaux. (*Applaudissements prolongés.*)

Maintenant, je donne la parole à M. Armengaud jeune, qui va nous présenter un résumé de l'histoire des découvertes et des principes généraux de l'Électricité et du Magnétisme.

M. Armengaud s'exprime ainsi :

Messieurs,

Après la brillante allocution que vous venez d'entendre, je sens combien est difficile la tâche que j'ai acceptée d'exposer devant vous en une seule séance, le résumé historique et les principes généraux de l'Électricité. Et cependant, ainsi que l'a dit tout à l'heure mon sympathique collègue, M. Marché, une sorte d'introduction a été reconnue nécessaire aux conférences qui vous seront faites sur les différentes branches de l'électricité. Mais je n'oublierai pas que je parle devant des Ingénieurs qui ont été autrefois initiés aux connaissances de la Physique, et que mon rôle se bornera surtout à éveiller des souvenirs.

Le sujet perdra peut-être aussi de son aridité, si je réussis à indiquer et à faire comprendre les nouvelles conceptions d'un caractère presque philosophique qui sont admises depuis quelques années pour constituer la théorie de l'Électricité et la rattacher à la Thermo-dynamique qui est, par excellence aujourd'hui, la Science de l'Ingénieur. Aussi, tout en énumérant les faits, et en citant les lois qui les coordonnent, j'essayerai d'indiquer l'enchaînement des premiers et des secondes pour montrer que dans cette branche de la Science comme dans les autres, au fur et à mesure que l'on marche en avant, et que plus les faits se multiplient, plus au contraire les théories qui les expliquent arrivent à se simplifier et à se fondre pour ainsi dire dans la Loi unique et générale qui régit tous les phénomènes de la nature.

L'électricité se présente sous deux états principaux : à l'état *statique* ou de repos, à l'état *dynamique* ou de mouvement. On range encore les phénomènes qui s'y rapportent en deux catégories principales, formant les deux branches d'études désignées sous les noms d'Électricité statique et d'Électricité dynamique. C'est dans cet ordre qui est également l'ordre historique que j'exposerai rapidement les principes généraux de l'Électricité.

Un corps est dit *électrisé* quand il possède la propriété d'attirer les corps légers et de produire des effets lumineux.

Cette propriété, connue dès l'antiquité pour l'ambre jaune (ἤλεκτρον), se remarque aussi dans la cire à cacheter, la résine, la gutta-percha, le soufre, le verre, la soie. Ces divers corps qui sont dits *électrisables* conduisent mal l'électricité, tandis qu'elle se propage très rapidement à travers des corps difficilement électrisables, et surtout les métaux, qui, pour cette raison, sont appelés *bons conducteurs* de l'électricité (Grey et Welher en 1727).

Les corps mauvais conducteurs ont reçu le nom de corps *isolants*, parce qu'on les emploie comme supports lorsqu'il s'agit de conserver à un conducteur son électricité. Cette condition est indispensable parce que la terre étant composée de substances qui conduisent l'électricité, celle-ci tend à s'écouler immédiatement dans le sol qu'on nomme pour cette raison le *réservoir commun*.

Chacun de nous se rappelle l'expérience élémentaire faite avec le pendule électrique à balle de niveau. La balle, après avoir été attirée par le bâton de verre frotté, est repoussée par le bâton de résine qui a été également frotté. On a cru pendant longtemps que cette différence d'action était due à deux sortes de fluides : l'un le *fluide positif*, celui du verre, et l'autre le *fluide négatif*, celui de la résine. Mais la théorie des deux fluides émise par Dufay en 1733, et complétée par Symmer, tombe devant le principe de l'unité des forces physiques. On revient, en la modifiant, à la théorie de Franklin qui suppose l'existence d'un seul fluide.

Aujourd'hui on est enclin à admettre qu'il n'y a pas d'action à distance. Toutes les actions électriques sont transmises de place en place par des déformations d'un certain milieu continu remplissant l'espace ainsi que les intervalles intermoléculaires. C'est à l'existence de ce fluide qu'on rapporte tous les phénomènes calorifiques, lumineux et électriques. Mais, tandis que pour les phénomènes de chaleur et de lumière, l'*éther* agit par ses vibrations, il agirait pour donner naissance à l'électricité par son déplacement et par sa masse, en se condensant ou se raréfiant à la surface des corps.

Dans cette théorie un corps est à l'état neutre lorsque l'éther dont il est imprégné est en équilibre dans ce corps, mais, dès que par uné cause quelconque il y a rupture d'équilibre, l'électricité apparaît à l'état *positif* s'il y a condensation et à l'état *négatif* s'il y a raréfaction. Dans l'électricité dynamique il y a, de plus, transport du fluide éthéré sous forme de flux à travers un conducteur.

Je passe, sans m'y arrêter, sur les phénomènes si connus de la décharge et de l'étincelle électrique, représentations minuscules de la foudre et du tonnerre, et j'arrive au principe qui sert de base à la théorie de tous les phénomènes de l'Électricité statique. Ce principe est le suivant :

Deux corps chargés de la même électricité se repoussent, et deux corps chargés d'électricités contraires s'attirent. On en conclut que l'électricité doit se porter à la surface des corps.

Les lois des attractions et des répulsions ont été établies par Coulomb, de 1783 à 1785, et déterminées à l'aide de la balance qui porte son nom.

Les répulsions et les attractions entre deux corps électrisés sont en raison inverse du carré de la distance.

A distance égale, ces mêmes forces sont en raison directe des quantités électriques que possèdent les deux corps, c'est-à-dire proportionnelles au produit des quantités d'électricité sur les deux corps.

L'électrisation d'un corps a lieu par le frottement ou à distance par influence (induction).

Le frottement est le moyen employé dans les premières machines électriques : machine d'Otto de Guéricke (1670), boule de soufre que l'on fait tourner et que l'on frotte avec la main ; machine de Ramsden, plateau de verre et coussins frotteurs. La machine de Nairne et celle de Van Marum permettent de recueillir les deux électricités. Le frottement produit de la chaleur qui se convertit en électricité. Le plus simple des appareils produisant l'électricité est l'Électrophore inventé par Volta.

La transformation du travail mécanique en électricité apparaît d'une manière plus directe dans les machines fondées sur l'action par influence. C'est le principe de la machine de Holtz.

La machine de Carré s'amorce d'elle-même ; elle est une combinaison de la machine de Holtz et de l'ancienne machine à frottement.

L'électricité peut s'accumuler en quantités relativement considérables, lorsque l'on peut l'amener sous ses deux états sur deux corps séparés par un corps isolant ou diélectrique qui s'oppose à sa recomposition à l'état neutre. Les appareils qui permettent cette accumulation s'appellent *Condensateurs*. La bouteille de Leyde, inventée par Cuneus en 1746, n'est autre qu'un condensateur.

Dans son ouvrage paru en 1759, Œpinus cherche à expliquer mathématiquement la condensation. La force condensante est le rapport entre la charge que prend le plateau collecteur quand il est influencé par le second plateau à celle qu'il produirait s'il était seul.

Les lois de l'électricité statique se résument dans la formule de Coulomb :

$$f = k\frac{q \times q'}{l^2},$$

q et q' étant les masses électriques des deux corps en présence, l leur distance, f la force électrique en vertu de laquelle ils s'attirent et se repoussent, k est un coefficient. On remarque la similitude que présente cette formule avec celle de la Gravitation universelle.

A propos de cette formule de Coulomb, la plus ancienne en matière d'électricité, il est nécessaire de parler du *potentiel* qui forme la base de la théorie actuelle de l'Électricité, et dont l'idée a été introduite dans la science par G. Green, en 1828, dans son ouvrage intitulé « Étude de l'Électricité. »

Le potentiel électrique est une qualité spéciale qui correspond à la force élastique d'un gaz, à la pression hydrostatique des liquides, ou encore à la température des corps dans la théorie mécanique de la chaleur. Considéré au point de vue de la force de la pesanteur, le potentiel d'un corps est le travail qu'il est capable de produire selon la distance verticale qu'il peut parcourir quand il tombe d'un niveau à un autre. Le sol peut être considéré comme ayant un potentiel nul. Alors le potentiel d'un corps pesant est fonction de la hauteur de ce corps au-dessus du sol. Si on élève

un corps au-dessus du niveau qu'il occupait, il aura un potentiel plus grand.

C'est en raison des différences de potentiel de deux points électriques A et B, que l'électricité peut se transmettre de l'un à l'autre Assimilant le potentiel électrique à la force élastique d'un gaz on peut expliquer la combinaison des électricités de noms contraires en les comparant à deux masses de gaz, l'une comprimée, l'autre raréfiée dans deux ballons reliés par un tube de communication. Si on ouvre le robinet, il va se produire un mouvement dont l'énergie sera en raison de la différence des tensions, c'est-à-dire des potentiels des deux ballons. En désignant par V et V' les deux potentiels électriques, la formule de Coulomb devient la suivante :

$$f = \frac{V - V'}{l}.$$

Cette équation résume toute la théorie de l'Électricité statique.

Galvani, par sa célèbre expérience en 1790, a ouvert la voie à cette série dedécouvertes formant cette partie de la Physique qu'on a désignée d'abord sous le nom de Galvanisme par reconnaissance pour son auteur. En dépouillant les membres inférieurs d'une grenouille vivante, puis mettant les jambes en communication avec le dos au moyen d'un arc composé de deux branches l'une en cuivre, l'autre en zinc, Galvani vit le corps de l'animal s'agiter dans des mouvements convulsifs.

Au lieu d'attribuer comme Galvani les convulsions de la grenouille à l'existence d'un fluide nerveux particulier aux animaux, l'illustre Volta les expliqua par le passage d'un *courant électrique* que faisait naître le contact de deux métaux hétérogènes. Il put, avec deux lames de cuivre et de zinc soudées ensemble, constater la présence de l'électricité, et c'est pour la développer qu'il imagina de disposer alternativement les uns au-dessus des autres, des disques de cuivre et des disques de zinc séparés de deux en deux par une rondelle de drap imbibée d'eau acidulée. L'appareil composé de ces disques métalliques ainsi empilés, reçut de Volta le nom de *pile*, qui a été conservé à tous les générateurs chimiques d'électricité, bien qu'ils aient perdu pour la plupart la forme de l'appareil primitif.

A la suite des expériences nombreuses qu'il fit sur la production de l'électricité dans la pile, Volta posa ce principe général : Le contact de deux corps hétérogènes donne toujours naissance à une force désignée sous le nom de force électro-motrice, et cette force, égale à la différence des états électriques des deux corps en contact, est constante quelle que soit leur charge d'électricité. Ce principe est resté vrai dans ses conséquences, bien que la théorie du contact ait été abandonnée.

Fabrioni d'abord, compatriote de Volta, puis en Angleterre Vollaston et Davy, démontrèrent que le développement de l'électricité était dû, non au contact de métaux, mais à l'oxydation du zinc par l'eau acidulée des ron-

delles. C'est M. Becquerel en France qui, généralisant le rôle des actions chimiques, eut l'honneur de préciser les lois du dégagement de l'électricité. Ce sont les suivantes :

Dans la combinaison de l'oxygène avec un autre corps, l'oxygène prend l'électricité positive, et le combustible l'électricité négative.

Dans la combinaison d'un acide avec une base, le premier prend l'électricité positive et le second l'électricité négative.

Dans les décompositions, les effets électriques sont inverses des précédents.

Je n'ai pas à m'arrêter davantage sur les piles, puisqu'une séance prochaine leur sera consacrée par M. Niaudet, notre savant collègue. Il me suffit d'en résumer la théorie.

1° L'action chimique dans chaque couple d'une pile développe une *force électro-motrice*, qui électrise l'une des électrodes positivement et l'autre négativement.

2° La force électro-motrice communique aux éléments de chaque couple une différence de *tension* constante, qui se superpose d'un couple au suivant.

3° Tant que le circuit est ouvert, la tension dans chaque couple fait équilibre à la force électro-motrice, et l'action chimique cesse.

4° Lorsque le circuit est formé par un conducteur, les électricités contraires se recombinent et l'action chimique recommence, un flux continu d'électricité s'établit du *pôle positif* au *pôle négatif* dans le conducteur; c'est le courant.

Dans la nouvelle conception du potentiel, on dit que la force électromotrice est égale à la différence des potentiels résultant des actions chimiques exercées aux deux pôles de la pile.

Si les actions chimiques donnent naissance à des courants, réciproquement les courants produisent des effets chimiques; c'est ce qui constitue l'Électrolysation.

La première décomposition opérée par la pile a été celle de l'eau en 1800 par deux Anglais, Carlisle et Nicholson. L'appareil employé, composé de deux cloches renversées sur un vase rempli d'eau, a reçu de Faraday le nom de Voltamètre. Faraday a découvert cette loi remarquable :

Lorsqu'un courant agit simultanément sur une suite de dissolutions, les poids des éléments séparés dans chacune d'elles sont dans le même rapport que leurs équivalents chimiques.

Si l'on appelle *équivalent électrique* la quantité d'électricité nécessaire pour décomposer un équivalent d'eau, on peut donner à la loi de Faraday cet autre énoncé :

Quelle que soit l'électrode qu'il traverse, l'équivalent électrique en décompose un équivalent.

Cette loi est à rapprocher de la belle loi de Dulong et Petit, d'après laquelle le produit de l'équivalent chimique ou poids atomique d'un corps, par son coefficient de capacité calorifique est un nombre constant, le même pour tous les corps. On peut en conclure que tous les corps ramenés à leurs poids atomiques fournissent la même quantité de chaleur comme la même quantité d'électricité. C'est un nouveau lien établi entre l'unité de la Matière et l'unité de la Force physique.

Les applications de l'Électrolysation sont nombreuses; citons la Galvanoplastie découverte par Jacobi en 1838, l'argenture et la dorure galvaniques mises en pratique vers la même époque, par MM. de Ruolz et Elkington.

Œrsted, en 1819, par une expérience devenue célèbre, a mis en évidence la liaison intime qui existait entre l'Électricité et le Magnétisme. En plaçant une aiguille aimantée dans le voisinage d'un fil traversé par un courant d'une pile, il remarqua que cette aiguille se mouvait et se mettait en croix avec la direction du courant.

Reprenant l'expérience d'Œrsted, Ampère formule le résultat en disant que l'action directrice des courants sur les aimants mobiles consiste toujours à faire dévier le pôle austral vers la gauche du courant.

Schweigger, peu après la découverte d'Œrsted, construit le *Galvanomètre*, instrument précieux pour la mesure de l'intensité des courants. Il a l'idée de replier le fil plusieurs fois sur lui-même pour combattre l'action terrestre et augmenter l'action du courant sur l'aiguille aimantée.

Peu de temps après, Ampère montre que l'action directrice des courants et des aimants est réciproque. Il songe alors à étudier l'action des courants sur les courants et il découvre cette succession de lois qui résument l'Électro-dynamique.

1° Deux courants parallèles de même sens s'attirent.

2° Deux courants de sens contraire se repoussent.

3° Entre deux éléments de courant, l'attraction et la répulsion sont en raison directe de leurs intensités et en raison inverse du carré de la distance.

Faisons remarquer ici que cette dernière loi est exactement celle de Coulomb dans laquelle l'intensité du courant est substituée à la masse électrique.

Après avoir expérimenté sur des courants rectilignes, Ampère eut l'idée d'étudier les actions des courants sinueux, puis circulaires et il arriva ainsi à considérer les *solénoïdes*, qui sont des systèmes de courants circulaires égaux et parallèles.

Il démontre que les solénoïdes se comportent comme des aimants, et c'est en se fondant sur cette analogie qu'il édifie cette magnifique théorie dans laquelle les phénomènes magnétiques rentrent dans le domaine de l'Électro-dynamique.

D'après l'influence que les courants exercent sur les aimants, il était naturel de penser qu'en agissant sur les substances magnétiques, à l'état neutre, les courants devaient tendre à orienter les courants d'Ampère dans ces substances. Guidé par cette remarque, Arago commença par observer l'attraction exercée sur la limaille de fer doux par un courant électrique. Puis, faisant passer un courant à travers un conducteur en hélice enveloppant une tige de fer doux ou d'acier non aimanté, il trouva que la tige s'aimantait, acquérant une intensité magnétique très grande, passagère, limitée à la durée du courant dans le fer doux, permanente pour la tige d'acier.

Tel est le principe de la construction de l'électro-aimant, cet organe d'une admirable simplicité qui permet à l'électricité de se traduire en un déplacement mécanique à distance. Il est l'élément essentiel de tous les appareils télégraphiques et de presque toutes les machines produisant ou utilisant l'électricité.

L'honneur d'une autre découverte plus étonnante encore sinon plus féconde était réservé à Faraday, l'illustre physicien anglais.

En 1832, il fit connaître toute une série de phénomènes produits par l'action à distance de corps électrisés sur des corps à l'état neutre; il désigna cette action sous le nom d'*induction*.

Plaçant deux fils l'un près de l'autre et faisant passer un courant dans le premier, puis l'interrompant brusquement, il constata qu'à chaque interruption un courant prenait naissance dans le second fil. Le premier courant s'appelle *courant inducteur*, le second *courant induit*. C'est le principe de la machine d'induction de Ruhmkorff.

Faraday observa, en outre, un phénomène analogue avec un courant continu que l'on approche ou qu'on éloigne brusquement d'un circuit fermé.

Lenz formula ainsi les lois de l'induction :

Lorsqu'un courant s'approche ou s'éloigne d'un circuit fermé, il se développe dans celui-ci un courant induit de tel sens, qu'en agissant, suivant les lois électro-dynamiques sur le courant inducteur, il lui ferait prendre un mouvement inverse de celui en vertu duquel il exerce son induction. Les courants induits, direct et inverse, sont égaux en quantité mais non en durée et en tension.

Puisque les aimants ne sont pas autre chose que des systèmes de courants, on comprend qu'ils jouissent aussi des propriétés inductives. L'influence d'un courant aimante un barreau d'acier, réciproquement un aimant peut faire naître dans les circuits métalliques des courants. Faraday l'a démontré, soit en introduisant un barreau aimanté dans une bobine, soit en approchant un aimant d'un barreau de fer doux entouré d'une bobine.

On obtient les mêmes effets d'induction dans les fils d'un électro-aimant, si, devant les pôles de celui-ci, on fait tourner rapidement un fort bar-

reau aimanté; de même en faisant tourner les bobines devant le barreau fixe.

C'est sur ce principe de la production de l'électricité par induction que sont fondées toutes les machines magnéto-électriques (systèmes de Pixii, Clarke, machine de Nollet ou de l'Alliance à bobines et aimants multiples, etc.).

En 1867, M. Siemens, l'inventeur de la bobine qui porte son nom, et M. Wheastone firent savoir qu'il n'y a même plus besoin d'aimant, c'est-à-dire de magnétisme remanant pour produire de l'électricité, d'après les principes de l'induction. Ils créent alors les machines dynamo-électriques, dont le premier type a été celui de Ladd, et dans lesquelles l'électricité devient l'effet immédiat de la transformation du travail mécanique.

Dans ces machines, les courants produits sont alternativement positifs et négatifs; il faut les redresser par un Commutateur pour les amener à être dans le même sens, d'où une perte notable par les étincelles qui brûlent rapidement les armatures des commutateurs. Ces inconvénients disparaissent avec la machine imaginée, en 1868, par M. Gramme, et qui donne des courants continus et d'une grande puissance. Cette machine se distingue essentiellement des précédentes, par ce fait qu'au lieu de noyaux distincts de fer doux, les bobines ont un noyau commun formé d'un anneau qui tourne avec elles dans le champ magnétique d'un aimant ou d'un électro-aimant. Cette idée de l'armature annulaire avait été émise quelques années auparavant par un savant professeur italien, M. Pacinotti. Mais il reste à M. Gramme le mérite de l'avoir réalisée le premier par une disposition pratique. Et c'est de ce moment que datent les véritables applications industrielles de la machine dynamo-électrique, l'éclairage, l'affinage des métaux, les tramways électriques, etc.

Toutes les machines dynamo-électriques sont *réversibles,* c'est-à-dire sont capables de retransformer en travail mécanique l'électricité que ce travail avait engendrée. Cette *réversibilité* forme le principe même du transport de la Force motrice à distance par l'électricité, problème qui doit à un si haut degré intéresser les Ingénieurs.

A un autre point de vue, les effets de l'induction se sont manifestés d'une manière remarquable dans une invention récente, qui est certes la plus merveilleuse de toutes celles qui touchent à l'électricité. Je veux parler du *Téléphone.* Le téléphone, cette machine magnétique en miniature a mis en œuvre pour la première fois ces courants ondulatoires électriques qui, traduisant les modulations complexes de la parole articulée, ont permis de la transmettre à de grandes distances.

Le peu de temps qui me reste m'oblige à passer sous silence une multitude de faits qui marquent dans l'histoire de l'Électricité. Mais je ne puis terminer ce rapide aperçu sans dire quelques mots des Grandeurs électriques et de leur mesure. Leur considération repose sur deux lois fondamentales, celle de Ohm et celle de Joule.

En 1827, Ohm, dans un mémoire sur la théorie mathématique de la pile, fut conduit à poser les lois qui règlent l'intensité d'un courant dans un circuit fermé.

Il démontra que l'intensité du courant est en raison inverse de la longueur du circuit, proportionnelle à sa section et directement proportionnelle à un coefficient de conductibilité du courant. Pouillet, en 1838, confirma ces théorèmes par des expériences faites avec le galvanomètre. La conductibilité d'un corps pour l'électricité faisant supposer l'effet inverse, c'est-à-dire la résistance que ce corps peut opposer au passage du courant, il désigna par *longueur réduite* ou *résistance* le rapport $\frac{l}{c\,s}$, et la loi de Ohm se réduisit à cette formule : $I = \frac{E}{R}$ dans laquelle I désigne l'Intensité, E la Force électro-motrice et R la Résistance.

La seconde loi, non moins importante, a été énoncée presque simultanément par Joule et Becquerel. Mesurant la quantité de chaleur dégagée par le passage de l'électricité à travers les corps, ils ont trouvé que cette quantité de chaleur W est en raison directe du carré de la quantité de chaleur Q qui passe un temps donné t, et proportionnelle à la résistance du corps au passage de l'électricité.

Celle-là s'exprime donc par la formule :

$$W = Q^2 R, \qquad \text{ou par celle-ci :} \quad W = I^2 R t,$$

en remplaçant Q par sa valeur $I t$, I l'intensité étant justement la quantité d'électricité qui passe dans le fil en une seconde.

On désigne ici par W la chaleur ou l'*Energie*, ou encore le travail qui lui est équivalent.

Le travail en kilogrammètres s'exprime par la formule :

$$T = \frac{E I}{g},$$

g étant l'accélération de la pesanteur à Paris.

En reprenant l'assimilation d'un circuit électrique avec une conduite d'eau, on voit que le potentiel électrique est une hauteur de charge, que E est la chute, I le débit, et que, par conséquent, la formule ci-dessus est analogue à celle qui exprime le travail théorique d'une chute d'eau.

Les grandeurs électriques I E W R se complètent par une cinquième C, qui est la *Capacité*, et qui s'obtient par la formule :

$$Q = C E.$$

Les quatre équations qui lient ces cinq grandeurs constituent aujourd'hui toutes les bases nécessaires pour résoudre par le calcul les questions d'électricité. Mais pour obtenir des résultats toujours comparables, il importait de déterminer des unités électriques. Dès 1834, Gauss et Weber avaient proposé le système des unités absolues. En voici le principe :

L'Énergie, sous quelque forme qu'elle se présente, étant toujours l'équivalent d'un travail mécanique, il en résulte que le travail peut servir de terme de comparaison pour tous les phénomènes matériels, et, en conséquence, tous ces phénomènes peuvent être mesurés en fonction des unités mécaniques. Tel est le fondement du système absolu des unités électriques qui a été adopté, en 1852, par l'*Association britannique pour l'avancement des sciences*, qui était accepté depuis par presque tous les physiciens, et que le Congrès international des Électriciens, dans une séance qui restera mémorable, vient de solennellement consacrer.

Pour simplifier le langage, on a donné des désignations aux unités pratiques en choisissant les noms des plus grands savants électriciens. L'unité de force électro-motrice a été appelée le *Volt*, celle de résistance l'*Ohm*, celle de capacité le *Farad*, celle de quantité le *Weber*, et celle d'intensité le *Weber* par seconde. A cette dernière appellation, le Congrès a substitué l'*Ampère* pour rendre un hommage bien dû à notre illustre compatriote.

C'est le système métrique qui, dès le principe, avait fourni les bases des unités, le mètre, la seconde et la masse pesant un gramme à Paris. Parmi les grandeurs électriques, il en est telles que l'intensité ou la quantité qui peuvent être évaluées, soit en mesures électro-statiques, soit en mesures électro-dynamiques; de là, deux systèmes. Il serait trop long de nous y arrêter, cet examen vous sera présenté dans la séance consacrée à l'Électrométrie. Qu'il me suffise de dire que le rapport entre les unités de quantité dans les deux systèmes de mesure s'exprime par une vitesse, et, chose remarquable, que cette vitesse est précisément celle de la lumière.

Ce résultat concorde avec les faits de la découverte de la polarisation rotatoire, et l'identité de l'éther électrique avec l'éther lumineux se vérifie encore par l'identité des vitesses de la lumière et de l'induction dans l'air et dans les gaz. L'invention récente du photophone en fournit une nouvelle preuve. Et ainsi se trouve confirmé une fois de plus ce grand principe de la *Conservation de l'énergie*, qui établit la corrélation intime entre toutes les forces du Monde physique (*Applaudissements*).

M. le Président. Nous venons d'entendre un discours extrêmement habile; son ingénieux auteur nous a menés à travers toute l'histoire du développement scientifique et pratique de l'Électricité, et a terminé son discours en nous donnant les éléments sur lesquels on doit se baser pour compter et évaluer cette nouvelle force dans la pratique.

Ici, je dois mentionner que le Congrès international s'est beaucoup occupé de cette dernière question, celle de la fixation des unités électriques; et, après une discussion difficile et assez longue, nous sommes arrivés à une détermination heureuse qui, je l'espère, donnera au monde un système qui durera toujours.

Nous avons adopté d'abord l'Ohm comme unité de résistance, et cette

résistance sera déterminée suivant le système absolu, mais sera exprimée suivant l'unité ou l'étalon mercuriel, c'est-à-dire sera exprimée par une colonne de mercure de 1 millimètre de section et d'une longueur telle qu'elle représente l'unité absolue. Puis, il y a l'unité de force électromotrice : c'est le Volt. Le Volt divisé par l'Ohm donne l'unité d'intensité du courant auquel on a donné le nom d'Ampère. Le nom de Coulomb a été introduit pour représenter l'unité de quantité. Cette dernière question sera réglée d'une manière définitive par une Commission internationale qui sera nommée dans ce but.

Il est à espérer que les mesures d'électricité seront établies sur une base aussi ferme que celle du système métrique, qui a été adopté pour le monde entier.

Je remercie en votre nom M. Armengaud de l'intéressant exposé qu'il vient de nous faire.

M. Marché. Au sujet traité par M. Armengaud, correspond une visite aux Expositions des classes 1 et 16. Les appareils produisant l'électricité statique sont groupés dans les salles 9, 11, 12, 13 et 15, au premier étage du palais. En quittant cette salle nous traverserons les salles 18 et 19 où sont groupés les appareils les plus intéressants du musée rétrospectif.

Le temps nous manquera aujourd'hui pour examiner en détail cette remarquable collection des instruments qui ont servi aux grands savants dont les découvertes viennent de vous être rappelées, et dont nous pourrons saluer les bustes et voir les précieux autographes, mais nous aurons l'occasion de revenir souvent dans ces salles.

Lors de notre prochaine réunion, nous vous proposerons de consacrer l'après-midi à la visite des appareils dont on nous aura le matin exposé les principes et nous aborderons l'électricité dans sa forme moderne et ses applications à l'industrie.

La séance est levée à midi.

Notes sur la visite aux classes 1 et 16.

CLASSE I.

ÉLECTRICITÉ STATIQUE.

Cette classe est peu importante. Elle ne présente d'intérêt que dans les sections française et allemande.

Section française.

Les divers appareils produisant l'électricité statique sont groupés dans le salles 9, 11, 12, 13, 15, au premier étage du palais. Nous citerons les expositions de Messieurs :

CARPENTIER, successeur de Ruhmkorff. — Machines électriques. — Machines de Holtz (S. 13).

CARRÉ. — Machine dialectrique (S. 12).

DUCRETET. — Machines de Holtz et de Tœpler (S. 13).

NOÉ. — Machines électriques de Ramsden et de Holtz. Machine dialectrique de M. Carré (S. 13).

PLANTÉ. — Machine rhéostatique (Ny).

Section allemande.

Les divers appareils suivants sont réunis dans la grande nef.

KONIGLISCH SACHSICHES-POLYTECHNIKUM (Dresde). — Machine de Tœpler.

TŒPLER. — Machines statiques à 60 et 20 disques, dont une à potentiel plus élevé et à amorçage automatique.

VOSS. — Machines statiques à disques tournants et à amorçage automatique. — Machine statique de Holtz.

Amérique du Nord.

EDISON. — Bouteilles de Leyde et condensateurs dans lesquels le vide a été fait.

Autriche.

Dr MACH. — Appareils pour l'étude des décharges électriques. — Étude sur les ondes produites par l'étincelle.

Belgique.

BRAUD. — Modèle de machine Carré.

Grande-Bretagne.

APPS. — Bobine d'induction donnant dans l'air une étincelle de 3 pieds et demi.

Italie.

FAUTRIER. — Électro-moteur du type Holtz.

FORNIONI. — Machine électrique à bande de papier.

Russie.

BORGMANN. — Appareil pour la démonstration des lois de la condensation électrique.

CLASSE 16.

MUSÉE RÉTROSPECTIF.

Les appareils les plus intéressants qui ont servi aux recherches de Volta, de Galvani, de Nobili, de Zamboni, d'Ampère, de Wheaston, de Becquerel, sont pour la plupart réunis dans les vitrines des salles 18 et 19. Il convient de fixer son attention sur :

L'Exposition du Collège de France Table d'Ampère pour la vérification des lois élémentaires de l'électro-dynamique. — Machine électro-magnétique de Pixii, construite en 1832. Diapason électrique et Couple thermo-électrique de Regnault.

Ministère de l'Agriculture et du Commerce. — Piles à sulfate de cuivre de Becquerel, 1829. — Piles à potasse, thermo-électrique à sulfure de cuivre, à alliage de cadmium, de Becquerel.

Grand couple secondaire de G. Planté, 1860. — Boussoles des sinus et des tangentes de Pouillet, etc., etc.

Autographes d'Ampère, d'Arago de Faraday, de Milloni.

Boussole employée par *Œrsted* dans ses recherches sur l'électro-magnétisme.

Première bobine d'induction de MM. Breguet et Masson, dites bobines Ruhmkorff.

Première bougie électrique de M. Jablochkoff.

L'Exposition du *Ring's College* montre une série d'instruments ayant servi à Wheastone dans ses expériences sur l'électricité et l'Exposition du *Royal Institution of Great Britain.* — Les Appareils originaux dont s'est servi Faraday dans ses recherches sur l'Induction.

Le MUSÉE ITALIEN présente également un grand intérêt historique. On doit y signaler :

L'aimant naturel construit en 1607 par Galilée et qui appartenait au duc de Toscane.

Les appareils de Volta : des électrophores construits par lui, le pistolet de Volta, la première pile à rondelles (1799), la première pile à couronne (1800), le briquet à hydrogène, l'eudiomètre, etc.

La photographie des appareils qui ont personnellement appartenu à Volta et qui sont actuellement réunis à l'Institut de Milan et celle de ses autographes.

La Lettre de Galvani sur la torpille, les instruments de Nobili, de Mariani, Belli, Zamboni, etc.

D'anciens appareils sont disposés dans les sections étrangères de la grande nef. Le groupe le plus important est celui des Pays-Bas, on y observe l'ensemble du cabinet de physique de la fondation Teyler, qui

comprend : Une grande machine électrique construite en 1785 système Van-Marum, plusieurs électromètres, et trois aimants naturels.

L'Allemagne a disposé son exposition rétrospective dans la section spéciale.

Delmann. — Electromètre pour mesurer l'électricité atmosphérique.
— Electro-dynamomètre de Weber (1846).

Kœniglisch-Sächsisches Polytechnikum. — Plusieurs anciens appareils à cadrans.

Kolrausch. — Balance de torsion électrique, condensateur.
— Electromètre des sinus.

Minister der öffentlichen Arbeiten. — Boussole de mines construite en 1541.

Reichs-Postamt. — Modèle de la première machine de Otto von Guericke. — Un œuf électrique construit au commencement du dix-huitième siècle. — Copies exactes des appareils télégraphiques de Sommering, Gauss, Weber.

Belgique.

Brand. — Machine de Nairne, datant des premières années du siècle.

Glœsener. — Ses appareils de cours.

Maison des Josephites. — Appareil de Clarke. — Appareil de Joule.

Observatoire de Bruxelles. — Batterie Wollaston ayant servi à Ampère dans ses recherches sur les lois qui régissent les courants.

Appareil de Faraday, envoyé par lui à l'observatoire de Bruxelles pour la répétition des expériences sur le diamagnétisme.

Valerius. — Machine de Holtz donnée par l'inventeur à l'Université de Gand.

Grande-Bretagne.

Exposition rétrospective des divers types de télégraphes.

Russie.

Premier appareil électro-télégraphique inventé par le baron Schelling.
Appareil électro-télégraphique de Jacobi (1832).

PROGRAMME

DES SÉANCES-VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITE.

---

1 VENDREDI 23 SEPTEMBRE.	1. INTRODUCTION HISTORIQUE. Principes généraux. Électricité statique (Classe 1). Collections rétrospectives (Classe 16).
2 VENDREDI 30 SEPTEMBRE.	2. PILES ET ACCESSOIRES (Classe 2).
3 VENDREDI 7 OCTOBRE.	3. MÉCANIQUE GÉNÉRALE. Générateurs, moteurs à vapeur, à gaz, hydrauliques, transmissions (Classe 14).
4 MARDI 11 OCTOBRE.	4. ÉLECTROMÉTRIE (Classe 5).
5 VENDREDI 14 OCTOBRE.	5. MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES (Classe 3).
6 MARDI 18 OCTOBRE.	6. CHEMINS DE FER (Classe 6).
7 VENDREDI 21 OCTOBRE.	7. MOTEURS ÉLECTRIQUES. — TRANSPORT DES FORCES (Classe 9).
8 MARDI 25 OCTOBRE.	8. CABLES, FILS ET ACCESSOIRES (Classe 4).
9 MARDI 25 OCTOBRE.	9. LUMIÈRE ÉLECTRIQUE (Classe 8).
10 VENDREDI 28 OCTOBRE.	10. TÉLÉGRAPHIE (Classe 6).
11 VENDREDI 4 NOVEMBRE.	11. TÉLÉPHONIE, MICROPHONIE, PHOTOPHONIE (Classe 7).
12 MARDI 8 NOVEMBRE.	12. ÉLECTRO-CHIMIE ET ÉLECTRO-MÉTALLURGIE (Classe 11).
13 VENDREDI 11 NOVEMBRE.	13. APPAREILS DIVERS (Classes 12 et 13).

SÉANCES-VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

PROCÈS-VERBAL DE LA 2e SÉANCE-VISITE

tenue le Vendredi 30 Septembre 1881

dans la Salle de Lecture (Palais de l'Exposition de l'Électricité)

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU.

La séance est ouverte à dix heures du matin.

M. LE PRÉSIDENT. Messieurs, j'ai bien vivement regretté de n'avoir pu présider, comme c'était mon devoir, la première séance de nos réunions au centre de cette Exposition d'électricité que nous voulons étudier.

M. Marché, qui me remplaçait, avait invité l'un de nos membres, parmi les plus illustres dans la science, M. W. Siemens, à diriger cette première réunion. M. Siemens l'a ouverte par un exposé rapide sur la science et sur le rôle pratique de l'électricité.

Vous avez tous applaudi à cet exposé simple et élevé. Je suis heureux de pouvoir adresser, ici, à M. W. Siemens l'expression de toute notre gratitude.

M. Armengaud, avec sa clarté habituelle, vous a ensuite exposé les principes généraux de l'électricité et du magnétisme. — Il vous a tous intéressés.

Nos séances, vous le savez, Messieurs, ont commencé beaucoup plus tard que nous l'avions projeté; en effet, c'est le 20 août, époque vers laquelle nous devions avoir notre première réunion, que M. Brüll m'annonce, en province où j'étais, son départ précipité pour le Colorado.

Je fais appel à M. Marché, malheureusement il ne rentre à Paris que le 7 septembre; il convoque immédiatement la Commission, le 12 il m'adresse le programme des réunions, je le lui retourne approuvé et la première

séance aurait pu avoir lieu le 16, si notre secrétaire avait eu à sa disposition, pour convoquer les membres présents à Paris, les moyens télégraphiques et téléphoniques que nous trouvons dans cette enceinte. — Il n'était pas possible de mettre plus de diligence, et je crois être votre interprète en adressant à M. Marché tous vos remerciements.

Nos séances ont donc bien commencé, j'espère qu'elles continueront ainsi, et qu'elles nous seront profitables.

Je fais, pour cela, appel encore au dévouement de ceux qui veulent bien nous guider et nous instruire, je fais également appel à la bonne volonté de tous les membres de notre Société.

L'ordre du jour appelle la conférence de M. Niaudet, sur la pile électrique.

M. Niaudet. Messieurs, vous savez tous que les piles sont des sources d'électricité dynamique; elles donnent naissance à des courants électriques. Je dirai quelques mots pour justifier l'emploi du mot *courant*.

Les phénomènes dits d'électricité dynamique ont avec ceux du mouvement des liquides et des gaz dans les tuyaux, des analogies très frappantes. Il y a même une théorie, en faveur aujourd'hui, soutenue surtout par M. Edlund, savant physicien suédois, qui consiste à admettre que les phénomènes de l'électricité dynamique sont dus au transport de l'éther dans les corps conducteurs, de sorte que, si on admet ces vues, il y aurait plus qu'une simple analogie entre les courants électriques et ceux de liquide ou de gaz.

Les piles ne sont pas les seules sources d'électricité dynamique, les seules sources de courant; elles sont les premières en date et elles garderont toujours leur importance à côté des autres sources, qui jouent un si grand rôle aujourd'hui et que nous allons énumérer rapidement. Vous avez les machines électro-magnétiques auxquelles l'Exposition doit sa raison d'être principale, et dans lesquelles la force mécanique est transformée en électricité. Vous avez les piles thermo-électriques, qui convertissent directement la chaleur en électricité; cette transformation directe est une des questions les plus intéressantes de la physique; il est probable qu'on trouvera dans cette voie la solution la meilleure du problème qu'on poursuit aujourd'hui. Il faut remarquer en effet que, lorsqu'on emploie les machines électriques, on transforme d'abord dans le moteur à vapeur la chaleur en force mécanique, puis la force en électricité dans la machine électrique; il y a là un détour qu'on éviterait par l'emploi de piles thermo-électriques avantageuses. Quant à présent, leur rendement est malheureusement presque nul et elles ne sont susceptibles d'aucune application proprement dite.

J'appelle votre attention sur le nom même des piles. Ce nom leur est venu de la première forme qu'elle ait reçue entre les mains de Volta. Tout le monde sait que l'illustre inventeur *empilait* les uns sur les autres un certain nombre de disques bimétalliques, entremêlés de disques de drap

mouillé. C'est cet appareil qui a donné son nom à tous ceux de forme bien différente qui l'ont suivi, qui transforment l'énergie chimique en électricité.

Autrefois, quand on exposait les phénomènes de l'électricité dynamique, on procédait par la méthode historique ; on commençait par rappeler l'histoire si intéressante de la grenouille que Galvani avait suspendue à son balcon et dont les mouvements convulsifs l'avaient frappé. Puis on racontait l'histoire des travaux de Volta et celle des luttes qui s'engagèrent entre ces deux hommes illustres.

Cette méthode d'exposition ne convient qu'aux sciences à leur début; aujourd'hui l'électricité est assez avancée pour qu'on doive y renoncer. Il faut procéder autrement, prendre un phénomène simple et bien choisi et lui bien rattacher d'une manière logique l'ensemble qu'il s'agit de faire connaître.

Considérez un vase contenant un liquide dans lequel plongent deux lames de métaux différents ; quels que soient le liquide et les métaux plongés vous avez une pile. Cet appareil simple est en réalité le prototype de la pile.

Parmi celles si nombreuses qu'on peut réaliser, il faut mentionner celle de Volta et dans laquelle une lame de zinc et une de cuivre plongent dans de l'acide sulfurique étendu d'eau.

Il est fort remarquable que Volta arriva ainsi du premier coup à la meilleure pile qu'on pût faire avec trois substances.

Aujourd'hui on ne pourrait mieux faire. Le choix du zinc surtout mérite l'attention, car ce métal était beaucoup moins commun en 1800 qu'aujourd'hui.

Avant d'aller plus loin, je dois dire, en quelques mots, comment on constate le phénomène qui se produit dans la pile.

Les deux lames métalliques, qui prennent le nom d'électrodes, étant réunies par un fil métallique, ce fil prend des propriétés qu'il faut rapidement énumérer.

D'abord, si on approche ce fil d'une aiguille aimantée librement suspendue, on la voit dévier de sa position dans le méridien magnétique. La découverte de cette propriété a eu une importance capitale; on lui doit en particulier le moyen le plus généralement employé pour la mesure des courants ou leur comparaison entre eux.

Si ensuite, on coupe le fil qui réunit les deux électrodes et qu'on place les deux bouts coupés sur la langue, on a une impression *sui generis* très faible, et on doit admettre que le courant électrique qu'on suppose circulant dans le fil a une action physiologique. C'est là encore un moyen souvent commode de reconnaître l'existence d'un courant.

On peut encore placer sur un des bouts du fil coupé un morceau de papier trempé d'iodure de potassium; en le frottant avec l'autre fil on produit un trait bleu. On voit ainsi que le courant électrique a des propriétés chimiques.

Pour se faire une idée exacte des phénomènes électriques, il est fort utile de les comparer à ceux de la mécanique ordinaire. Quand on a une machine produisant un travail, on découvre dans cet ensemble, une force, des résistances, et, parmi ces résistances, un travail accompli. Dans un moulin, par exemple, nous voyons d'abord la force du vent, les résistances opposées par le frottement et le travail accompli par les meules. Il faut noter que si on détache les meules et qu'on supprime le travail utile accompli, on aura encore la force et les résistances dites passives; c'est-à-dire une machine ne faisant rien que de vaincre ses résistances passives. Cette expression de *résistance passive* n'a plus la signification ou plutôt l'absence de signification qu'elle avait autrefois. Il est démontré que le frottement est une transformation de l'énergie en chaleur; et nous avons noté qu'une machine transforme dans certains cas toute l'énergie dont elle dispose en chaleur par frottement.

Dans les phénomènes électriques, vous avez exactement les mêmes traits généraux. Dans une source d'électricité réside une force, une cause des phénomènes dont nous avons parlé. Cette cause a reçu le nom de force électro-motrice. Le courant produit par la source peut faire un travail, il peut faire tinter une sonnerie, mouvoir un moteur électro-magnétique, etc., etc. Et enfin il rencontre dans les fils conducteurs une certaine résistance. Si aucun travail proprement dit n'est accompli par le courant, on se trouve dans le cas d'une force entièrement absorbée par la résistance passive.

Éclaircissons, avant d'aller plus loin, l'idée de résistance d'un conducteur de l'électricité. Reprenons l'expérience du courant traversant un fil et agissant sur l'aiguille aimantée; si dans une série d'expériences successives on allonge le fil qui joint les électrodes de la pile, on voit la déviation de l'aiguille décroître, ce qui démontre la décroissance du courant ou enfin l'augmentation de la résistance, puisque la force électro-motrice n'a pas varié. La résistance électrique est tout à fait comparable à la résistance du frottement qui se trouve dans la mécanique; en effet, le fil conducteur s'échauffe par le courant et c'est cette production de chaleur qui est la cause de la résistance. En d'autres termes, on peut dire que la résistance électrique est une transformation d'énergie en chaleur, comme la résistance due au frottement.

La notion de force électro-motrice doit aussi être rendue tout à fait claire. Cette force ne tient qu'à la nature des substances qui entrent dans la composition de la pile et ne change pas avec la dimension de l'appareil ou de ses parties. Une expérience de M. Jules Regnauld est complètement probante à cet égard; si on met dans un circuit deux éléments de même espèce, disposés en opposition, c'est-à-dire que le courant de l'un soit en sens inverse de celui de l'autre; si on place dans ce circuit un galvanomètre; quelles que soient les dimensions des deux éléments, l'aiguille galvanométrique reste au zéro; ce qui établit que la force électro-motrice d'un petit élément est égale à celle d'un grand.

D'un élément à l'autre (les matières mises en présence restant les mêmes)

une seule chose diffère qui est la résistance propre ou intérieure de la pile. On comprend en effet que dans une machine quelconque, il y a des résistances propres qui tiennent à ses organes. De même, dans le cas d'une pile, nous rencontrons une résistance propre dont l'existence est facile à prouver par expérience.

Il nous reste à parler de l'intensité du courant produit par une source électrique. Ohm a tiré d'une hypothèse simple, par une série de déductions mathématiques, la loi suivante : l'intensité est proportionnelle à la force électro-motrice et inversement proportionnelle à la résistance du circuit entier.

Ces préliminaires posés, revenons aux piles. Celles qui se rattachent au type de Volta sont inconstantes. On reconnaît ce défaut au moyen du galvanomètre dont l'aiguille dévie de moins en moins quand le courant circule d'une manière constante. Cet affaiblissement est rapide si la résistance du circuit est petite; il est lent au contraire si cette résistance est grande, c'est-à-dire si le débit d'électricité par la pile est peu considérable.

Cette cause d'affaiblissement est appelée *polarisation*. Il est facile de constater par divers moyens que cette cause réside à la surface de l'électrode cuivre ou platine et que la surface du zinc n'y intervient pas. L'attaque du zinc par l'eau qui l'oxyde et donne lieu à du sulfate de zinc, cette attaque, dis-je, donne naissance à de l'hydrogène qui se dégage sur la surface de l'autre électrode, cuivre, platine ou autre. Ce gaz a une double action ; il ajoute à la résistance, et il diminue la force électro-motrice.

Dès l'origine on s'est préoccupé de donner aux piles la constance qui leur manquait; le premier moyen employé, moyen plus théorique que pratique, consistait à agiter le liquide autour de l'électrode de platine ou de remuer cette électrode dans le liquide.

D'autres moyens consistent à augmenter la surface de l'électrode polarisée, ou à donner de la rugosité à sa surface. C'est ainsi que le charbon peut être avec avantage substitué aux métaux.

La pile de Smee, qui a été très employée en Angleterre, est une pile dans laquelle l'électrode conductrice ou polarisée est de platine platiné ou simplement d'argent platiné ; la nature rugueuse de cette surface obtenue par voie galvanoplastique est très favorable au dégagement rapide du gaz hydrogène et, par suite, à la dépolarisation.

Malgré ces perfectionnements notables, les piles à un seul liquide, qui nous ont occupés jusqu'ici, ont perdu presque toute importance au point de vue des applications depuis l'invention des piles à deux liquides dans lesquelles la dépolarisation est produite par des procédés chimiques.

Étant donné qu'on se propose de faire disparaître l'hydrogène qui se dégage à la surface du platine, on doit y arriver au moyen de matières qui peuvent abandonner de l'oxygène et produire de l'eau en absorbant l'hydrogène.

L'expérience la plus frappante qu'on puisse faire pour montrer ce phénomène, consiste à verser quelques gouttes d'acide nitrique à la surface de

l'électrode de platine dans un élément zinc, eau acidulée, platine; la dépolarisation est immédiate. Cette expérience de Becquerel a abouti à la pile de Grove qui est l'une des meilleures qui soient, et qui est composée comme suit :

Dans un vase de verre ou de poterie est placé un cylindre de zinc baignant dans de l'eau acidulée : au milieu de ce cylindre creux de zinc est un vase poreux contenant de l'acide nitrique dans lequel baigne une lame de platine.

La pile de Grove a une force électro-motrice très grande et sa résistance est fort petite.

On l'emploie en France et en Allemagne sous la forme que lui a donné M. Bunsen. La lame de platine est remplacée par une plaque de charbon de cornue. La force électro-motrice de cette dernière pile est un peu inférieure à celle de Grove.

L'acide nitrique est le corps oxydant par excellence et par conséquent le mieux choisi pour absorber l'hydrogène et dépolariser l'électrode; mais beaucoup d'autres substances ont la même propriété, quoiqu'à un moindre degré, notamment certains oxydes, comme le péroxyde de plomb et le péroxyde de manganèse.

Nous sommes ainsi amenés à parler de la pile Leclanché, qui est dépolarisée au moyen du bioxyde de manganèse. Cette pile a pris une grande importance depuis quelques années dans les applications. Elle est ainsi composée : une électrode de zinc baigne dans une solution de sel ammoniac, dans le même récipient est un vase poreux contenant une électrode de charbon avec des fragments mélangés de charbon et de bioxyde de manganèse. La pile Leclanché présente un avantage très important ; quand le circuit est ouvert, il ne s'y fait aucun travail chimique, aucune dépense ; en d'aûtres termes les réactions ne s'y produisent qu'à la condition que le courant circule. En général, les piles, quand on les abandonne à elles-mêmes, font un travail qui est perdu, puisqu'il ne correspond pas à la production d'un courant; et la différence est petite entre la dépense qui ne correspond à aucun travail utile et celle qu'elle fait quand elle produit un courant.

Dans presque tous les cas, l'emploi des piles est discontinu et dans la télégraphie notamment on ne demande à la pile qu'un travail de quelques minutes par jour; tout le reste du temps les piles sont abandonnées à elles-mêmes et la dépense continue sans aucune utilité. Il y avait donc grand intérêt, surtout pour la télégraphie ordinaire à trouver une combinaison qui supprimât cet inconvenient capital. C'est à M. Leclanché que revient l'honneur de cet invention.

La pile Leclanché n'est pas aussi parfaite que celle de Grove; c'est-à-dire que la dépolarisation obtenue par le bioxyde de manganèse n'est pas complète, tandis qu'elle l'est avec l'acide nitrique. Mais, dans beaucoup de cas, la dépolarisation est suffisante; toutes les fois que la résistance du

circuit est grande, et le travail intermittent, la pile peut être regardée comme constante.

La plus parfaite de toutes les piles à deux liquides est la pile à sulfate de cuivre, connue sous le nom du physicien anglais, Daniell. C'est la première qui ait éte réalisée, car elle précéda celle de Grove; elle est restée la plus parfaite. Quoiqu'elle soit connue de vous tous, je rappellerai brièvement sa disposition.

Dans la cellule extérieure est une électrode de zinc qui baigne dans de l'eau acidulée, qu'on peut remplacer par une solution de sulfate de zinc. Dans la cellule intérieure, séparée par la cloison poreuse, est une solution de sulfate de cuivre dans laquelle baigne l'électrode de cuivre. La réaction chimique qui se produit dans cette pile est la suivante : le zinc, en présence de l'acide sulfurique, s'oxyde aux dépens de l'eau et du sulfate de zinc est formé. L'hydrogène mis en liberté se porte sur le cuivre, mais là, il déplace le métal engagé dans le sulfate, il se forme de l'acide sulfurique libre et du cuivre se précipite sur l'électrode de cuivre. L'électrode ne changeant pas de nature, il n'y a pas de polarisation.

Les qualités de la pile Daniell tiennent surtout à la grande solubilité du sulfate de cuivre qui sert à la dépolarisation. Et, pour le faire bien comprendre, nous la comparerons aux piles à sulfate de plomb et à sulfate de mercure, dont les réactions sont les mêmes que celle de l'élément Daniell. Dans la pile à sulfate de mercure, par exemple, l'action ne se produit qu'avec la quantité très petite de sel actuellement dissoute; si le travail est actif, cette petite quantité est rapidement consommée et la dissolution marchant lentement, l'appauvrissement de la liqueur se fait sentir; la dépolarisation diminue et peut finir par cesser tout à fait. Pour qu'une pile de ce genre soit constante, il faut qu'elle n'ait à fournir qu'un courant très faible, parce qu'alors le sulfate se dissout assez rapidement pour suffire à la dépolarisation.

La pile Daniell a reçu des formes très variées que je ne puis décrire toutes. J'en mentionnerai quelques-unes. Dans la pile type, les deux liquides sont séparés par une cloison poreuse. Plusieurs personnes dans divers pays ont eu à peu près en même temps l'idée de séparer les liquides par leur différence de densité; le sulfate de cuivre est un peu plus lourd que le sulfate de zinc et que l'eau acidulée; on peut donc les placer l'un au-dessus de l'autre, ils s'y maintiennent. On met une électrode de cuivre à la partie inférieure dans son sulfate, le zinc à la partie supérieure et on a une pile qui est connue en France sous le nom de M. Callaud. Cette pile a une très grande constance, et quand on apporte les soins convenables à la monter, elle a de grands avantages au point de vue économique.

En Allemagne, M. Meidinger, par l'addition d'un ballon renversé, obtient un entretien automatique de la pile et une durée fort grande sans entretien. L'électrode de cuivre est dans un petit gobelet placé au milieu du vase principal.

En Italie, M. Ubicini, qui est présentement membre du jury interna-

tional, a modifié d'une autre façon encore l'élément Daniell à gravité. Le vase extérieur présente un étranglement sur lequel repose le zinc.

Ces deux inventeurs ont remplacé dans ces derniers temps le cuivre par du plomb, qui a l'avantage d'être inattaqué dans la solution de sulfate de cuivre et qu'on n'a pas besoin, par conséquent, de protéger dans la partie supérieure du vase par une enveloppe de gutta-percha, comme il faut faire pour le cuivre.

Ces deux formes de la pile Daniell évitent en grande partie le dépôt du cuivre sur le zinc qui se produit par le mélange lent des liquides et qui est le seul inconvénient de la pile Daniell. Ce défaut n'en est un d'ailleurs qu'au point de vue économique; car, chose remarquable, le cuivre qui couvre le zinc ne change en rien la force électro-motrice de la pile.

Il me reste à vous entretenir d'une espèce particulière de piles, dont on a beaucoup parlé dans ces derniers temps et qui diffèrent absolument des précédentes. Celles dont j'ai parlé jusqu'ici sont des sources d'électricité. Celles dont il va être question, les piles secondaires, sont non pas des sources, mais des accumulateurs d'électricité qu'on charge au moyen de sources et qui rendent ensuite l'électricité qu'elles ont reçue.

Dès le commencement de ce siècle, on a réalisé les premières en procédant comme suit : dans un vase contenant de l'eau acidulée, on plonge deux lames de platine et on fait traverser cet appareil par un courant électrique; l'appareil se charge d'électricité et devient un réservoir. Une fois chargé ce réservoir peut être détaché de la source d'électricité et déchargé à volonté.

C'est à un physicien français, Gautherot, qu'on doit rapporter la première idée et les premières expériences de cette nature.

Pendant bien longtemps, les piles secondaires n'ont eu qu'un intérêt théorique ; mais depuis quelques années, un autre physicien français, M. Planté a transformé ces appareils et augmenté leurs effets au point que certaines applications en ont été faites. M. Planté a essayé tous les métaux et reconnu que le plomb avait l'avantage sur tous les autres. Il a donné à ses couples secondaires la forme suivante ; les deux électrodes de plomb, fort étendues sont enroulées l'une sur l'autre en spirale et maintenues à distance régulière par trois bandes étroites de caoutchouc. Cet ensemble est placé dans un vase de verre cylindrique qu'on remplit à peu près d'acide sulfurique étendu de dix fois son volume d'eau. Cet élément qu'on peut voir dans l'exposition de M. Planté, présente l'avantage de réunir dans un petit volume des électrodes de grande surface séparées par une très petite distance ; d'où il résulte que la pile a une résistance très petite. La force électro-motrice maxima qu'elle atteint est égale à une fois et demie celle de l'élément Bunsen.

Je dois dire quelques mots de l'action chimique qui se produit pendant la charge de la pile ; la première fois qu'on le fait, l'une des électrodes s'oxyde au contact de l'oxygène naissant, il se fait du peroxyde, tandis que l'autre électrode se recouvre d'hydrogène. Au moment de la décharge le peroxyde

se réduit et laisse un dépôt pulvérulent de plomb, dans un état spongieux. On recharge en renversant le courant et on peroxyde la surface de l'autre électrode. Après des charges répétées dans les deux sens, on arrive à une formation suffisante et la pile est en situation d'emmagasiner une grande quantité d'électricité.

Dans ces derniers temps, M. Faure s'est préoccupé de dispenser la pile Planté de la nécessité d'une formation qui coûte du temps et de l'argent. Il place sur ses feuilles de plomb une couche de minium maintenue par une enveloppe de feutre. Les deux électrodes ainsi recouvertes, chacune sur ses deux faces, sont placées en alternance dans un vase contenant de l'eau acidulée, de telle sorte que toutes les lames paires sont réunies ensemble à droite et ne forment qu'une seule électrode composée, tandis que les lames impaires font ensemble la seconde électrode. La capacité de ces piles nouvelles est sensiblement supérieure à poids égal à celle de M. Planté.

Me voici arrivé au terme de cet entretien, je veux vous rappeler en finissant que c'est aux travaux de Galvani et de Volta, à la découverte de l'électricité dynamique et à l'invention de la pile, que nous devons toutes les merveilles qui sont réunies dans cette exposition. Les phénomènes de l'électricité statique seuls connus avant eux sont presque sans application ; je n'en vois pas d'autres dans ce palais que les paratonnerres et quelques appareils propres à traiter certaines maladies, appareils en usage à la Salpêtrière, et exposés par le Dr Romain Vigouroux.

M. le Président. Je remercie M. Niaudet de la conférence qu'il vient de nous faire et dans laquelle il a exposé avec une grande netteté l'histoire de la pile électrique depuis Volta jusqu'à nos jours.

M. Reynier a la parole pour sa communication sur les applications industrielles des piles primaires et des piles secondaires.

M. Reynier. Messieurs, le succès, d'ailleurs très bien mérité, des machines dynamo-électriques, a fait rejeter dans l'oubli les piles hydro-électriques comme producteurs industriels d'électricité.

On reproche aux piles leur dépense élevée : ce reproche est justifié dans une certaine mesure ; cependant je crois que les piles n'ont pas complètement achevé leur rôle au point de vue industriel, et qu'à côté de la machine dynamo-électrique, les piles peuvent encore rendre d'importants services.

Ainsi, il est de certains cas où la question d'économie n'est pas la question dominante. Pour les moteurs de famille, pour certaines actions électro-chimiques, pour déterminer l'inflammation des mines, pour les applications chirurgicales, la question d'économie n'est pas de première importance. Enfin, il y a certaines actions qui demandent des courants rigoureusement continus que ne peuvent pas fournir les machines.

D'ailleurs, la cherté de la pile n'est pas un obstacle aussi absolu qu'on le croit; cette cherté, très réelle, n'ayant pas pour cause principale celle qu'on

a coutume d'invoquer, savoir le prix élevé du combustible employé, qui est le zinc. Or, ce n'est pas par la dépense du zinc que la pile est coûteuse; s'il n'y avait pas d'autres dépenses accessoires, l'emploi de la pile pourrait se développer beaucoup.

On peut calculer qu'un cheval-vapeur transformé en énergie électrique, et obtenu par une locomobile coûterait 0 fr. 18 de houille par heure, et correspond à une dépense de zinc de 0 fr. 60. Avec du fer, la dépense descendrait au prix de 0 fr. 16. Ce prix n'a pas encore été réalisé, mais c'est chose faisable.

Le coût par des piles tient surtout à la complication des manipulations, à la perte des produits chimiques, à l'utilisation moins parfaite des produits qu'elle consomme.

Au point de vue des prix de revient, il faut considérer que la pile donne des résidus qu'on peut utiliser dans certains cas; bien des industries étrangères à l'électro-chimie pourraient nous apporter des éléments nouveaux, soit en nous offrant les produits premiers économiques, soit en utilisant les produits secondaires de la pile.

Après avoir indiqué que la dépense des piles pourrait être diminuée, il faut constater qu'actuellement elle est encore très élevée. Ainsi dans la pile qui est la plus économique de toutes, la pile de Daniell, le prix de revient du cheval par heure, obtenu sous forme d'énergie électrique, serait encore de plus de deux francs. C'est un prix élevé, qui, cependant, est abordable dans certaines applications, notamment quand on veut obtenir un travail de un ou plusieurs kilogrammètres.

M. Niaudet vous a exposé d'une façon claire et exacte les principales combinaisons voltaïques connues. Ces combinaisons sont extrêmement nombreuses; mais au point de vue industriel, on n'en rencontre qu'un petit nombre qui soient applicables. Dans toutes, le combustible choisi est le zinc; elles diffèrent donc par la nature du dépolarisant.

Sous ce rapport, on peut les diviser en trois catégories : 1° les piles à bichromate de potasse, qui sont énergiques, mais coûteuses et peu constantes ; 2° les piles à sulfate de cuivre, du genre de celle de Daniell, qui sont les plus économiques, et en même temps les plus constantes ; 3° les piles à acide nitrique, du genre de celles de Grove, qui sont énergiques et constantes, mais qui présentent l'inconvénient d'être coûteuses, de dégager des odeurs désagréables et d'exiger des manipulations dangereuses.

Je vais passer en revue ces trois catégories de piles, en décrivant, dans chacune, le spécimen le mieux réussi au point de vue que nous considérons.

Frappé de la puissance et de la commodité des piles au bichromate de potasse, M. Dronier a étudié les causes de leur prompt affaiblissement. Il a constaté que cet affaiblissement ne vient pas d'une polarisation de la pile. En effet, si l'on mesure les constantes d'une pile affaiblie, on reconnaît que la force électro-motrice a peu varié, mais que la résistance s'est accrue. L'accroissement de résistance se produit au contact du charbon avec la

liqueur bichromatée. M. Dronier a cru qu'en accroissant la surface des électrodes il y obtiendrait une diminution notable de résistance. Au lieu de prendre un ou deux charbons, il en a pris un grand nombre, et pour que chacun de ces charbons soit placé à une distance convenable de la lame de zinc, il les a fixés perpendiculairement à cette lame, ce qui lui permet de placer trente ou quarante lames de charbon dans le couple. Il obtient ainsi un grand développement de surface pour l'électrode charbon, dont toutes les parties soit bien dans le circuit, résultat qu'on n'atteint pas avec l'emploi du coke concassé.

Dans le genre Daniell, nous remarquons la pile qui a donné jusqu'ici les meilleurs résultats, celle de sir William Thomson.

On ne pouvait arriver à un accroissement de travail de la pile Daniell qu'en diminuant le dénominateur dans l'expression du travail maximum :

$$\frac{E^2}{4gR}.$$

Pour cela faire, sir William Thomson, a agrandi les électrodes zinc et cuivre et les a rapprochées beaucoup. Il les a disposées horizontalement, le cuivre dessous, le zinc au-dessus, en superposant les deux liquides.

Pour éviter l'emploi des vases poreux, il a séparé les liquides par leur différence de densité. La résistance du couple est réduite à 2/10e Ohm, ce qui porte le travail maximum du couple par seconde à 15/100e kilogrammètre. Les piles Thomson peuvent fournir de l'électricité à raison de 2 francs par heure et par cheval.

Les piles Bunsen, tout le monde les connaît : elles sont désagréables, à cause des mauvaises odeurs qu'elles dégagent, et dangereuses dans leur manipulation. A cause de ces inconvénients, elles semblaient devoir être reléguées dans les laboratoires. Cependant la pile Bunsen étant énergique et constante, il était intéressant de chercher à l'utiliser dans des applications industrielles. M. Tommassi est parvenu à diminuer tous ses inconvénients. Il a donné au vase poreux une grande hauteur, de manière à lui faire dépasser de 20 à 30 centimètres l'orifice du vase extérieur. Ce vase poreux contient un charbon plongeant jusqu'au fond, et une fiole percée inférieurement d'un petit trou. C'est dans cette fiole qu'on place la liqueur dépolarisante, qui n'est pas de l'acide nitrique, mais un mélange moins infect et moins coûteux de nitrate de soude et d'acide sulfurique.

Le renouvellement de la liqueur nitrique se produit automatiquement, au moyen de dispositions ingénieuses que vous comprendrez en visitant les appareils, beaucoup mieux qu'en écoutant une description incomplète, non accompagnée d'appareils et de figures. Le zinc se compose de rondelles superposées : à mesure qu'elles s'usent, on pose une rondelle neuve sur les anciennes. Le liquide qui baigne le zinc est de l'eau acidulée à 1/100e. Le remplissage et le vidage de la pile sont faciles et prompts; l'opération de la réamalgamation des zincs est supprimée.

Les constantes de la pile Tommassi n'ont pas été mesurées. Ce que nous

savons, c'est que la lumière obtenue au moyen de soixante-quinze couples répond à cinquante becs carcel. Le coût est de 1 fr. 50 par heure : c'est un prix élevé, mais ce n'est pas un prix inabordable.

J'arrive maintenant à l'étude des piles secondaires considérées dans leur application industrielle: les piles secondaires se rattachent à l'étude des piles primaires, et peuvent être très utilement combinées avec elles ou avec des machines dynamo-électriques.

M. Niaudet vous a fait l'historique des piles secondaires. Il vous a dit que la première pile secondaire qui ait donné des quantités notables d'électricité est celle inventée, en 1859, par M. Planté. Elle a reçu des applications nombreuses notamment pour les travaux de laboratoires, les opérations chirurgicales, l'inflammation des mines, etc. Ce qu'on a reproché à la pile Planté, c'est la durée de sa *formation* et son poids encore trop considérable, relativement à la quantité d'électricité qu'elle emmagasine.

La pile secondaire de M. Faure dérive directement de la pile Planté ; ses électrodes sont en plomb et plongent dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique ; mais sa *formation* est plus profonde et plus rapide. Dans la pile de M. Planté, la formation est limitée par l'épaisseur des lames de plomb. M. Faure donne rapidement à ses couples un pouvoir d'accumulation presque illimité, en recouvrant les électrodes d'une couche de plomb spongieux, formée et retenue de la manière suivante :

Les deux lames de plomb du couple sont individuellement recouvertes de minium ou d'un autre oxyde de plomb insoluble, puis entourées d'un cloisonnement en feutre, solidement retenu par des rivets de plomb : ces deux électrodes sont ensuite placées, l'une près de l'autre, dans un récipient contenant de l'eau acidulée. Si elles sont d'une grande longueur, on les roule en spirale, comme l'a fait M. Planté. Le couple étant ainsi monté, il suffit, pour le *former*, de le faire traverser par un courant électrique, qui amène le minium à l'état de peroxyde sur l'électrode positive, et à l'état de plomb réduit sur l'électrode négative. Dès que toute la masse a été électrolysée, le couple est formé et chargé.

Quand on le décharge, le plomb réduit s'oxyde et le plomb peroxydé se réduit, jusqu'à ce que le couple soit redevenu inerte. Il est alors prêt à recevoir une nouvelle charge d'électricité.

Pratiquement, on peut emmagasiner ainsi une quantité d'énergie capable de fournir un travail extérieur de 1 cheval-vapeur pendant une heure, dans une pile Faure de 75 kil. Des calculs, basés sur les données de la thermochimie, nous démontrent que ce poids pourra être beaucoup diminué.

Le *rendement* varie avec les régimes de charge et de décharge; il se compose de la combinaison de deux coefficients. Le premier est le rapport des forces électro-motrices : j'ai démontré que ce rapport pourrait être de 80 pour 100 [1]. Le second est le rapport des quantités : M. Faure ne l'a pas établi expérimentalement ; mais on peut, je crois, accepter provisoirement

1. Voir Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 18 avril 1881.

le chiffre de M. Planté qui est 91 pour 100. Soit un rendement final de 72 pour 100.

La perte finale de 28 à 30 pour 100 que comporte l'emploi des accumulateurs, est surabondamment rachetée par les avantages considérables qu'ils offrent à l'industrie.

La faculté de produire à loisir de l'électricité pour la dépenser quand on voudra, où l'on voudra, avec un régime quelconque; la possibilité de *séparer l'électricité de sa source* pour la transporter et la distribuer à son gré; la parfaite continuité et la régularité exceptionnelle du courant de décharge : tous ces avantages auront des conséquences importantes pour la solution de plusieurs grands problèmes, tels que l'utilisation des forces naturelles, la distribution universelle de l'électricité, la traction des véhicules et la navigation.

M. le Président. Je remercie M. Reynier de sa communication qui complète si bien la conférence de M. Niaudet. Il reste maintenant à voir, dans l'Exposition, toutes les installations qui composent la classe 2; c'est ce que nous ferons à partir de 2 heures.

La séance est levée à onze heures trois quarts.

Notes sur la visite aux appareils de la classe 2

PILES ET ACCESSOIRES

Les sociétaires, conduits par MM. Marché et Reynier, ont procédé à la revue des différentes piles primaires et secondaires exposées dans le palais.

Accumulateurs Faure. — La première des expositions visitées, celle de la Société « Force et Lumière » a soumis à l'examen des membres de la Société la pile secondaire de M. Faure, qui est une heureuse modification de celle de M. G. Planté.

Les éléments accumulateurs de M. Faure d'un volume d'environ 9 décimètres cubes se composent de lames de plomb repliées verticalement sur elles-mêmes, enveloppées d'amiante et d'une feuille de feutre. Les lames de plomb d'une épaisseur d'environ 1 millimètre sont préalablement recouvertes d'une couche de minium de 3 millimètres d'épaisseur de façon à être chargées d'à peu près 10 kilog. de cette substance par mètre superficiel. L'ensemble de ces lames repose dans une caisse en bois remplie d'eau acidulée.

Les éléments réunis au nombre de 44 sont chargés par 3 machines Sie-

mens type B² actionnées par un moteur à vapeur. Sous le poids d'une tonne de pile, l'énergie électrique emmagasinée correspond au travail de 1 cheval pendant 10 heures ou mieux, 2 chevaux durant 4 heures.

M. Faure observe que la couche de plomb spongieux qui se forme sur les feuilles de ce métal et qui condense l'électricité n'est pas d'une épaisseur homogène, ce qui est désavantageux au point de vue d'un écoulement continu d'électricité.

L'inventeur espère arriver bientôt à obtenir ces couches de plomb spongieux avec une épaisseur égale, et en joignant à ce perfectionnement celui de la construction des éléments eux-mêmes, il compte réduire de 1/2 de poids de pile nécessaire à l'emmagasinement d'une quantité donnée d'électricité. Pour ne citer qu'un nombre aujourd'hui pour faire 1 cheval-heure, il faut 75 kilogrammes de pile, avec la pile perfectionnée on espère descendre à 45.

Les appareils actuels seraient remplacés par une caisse en tôle émaillée dont le couvercle de même nature formerait fermeture hermétique à l'aide d'un joint en caoutchouc. Les feuilles de plomb seraient disposées comme dans l'appareil décrit, mais moins épaisses et séparées par des bandes de caoutchouc moulées sur l'amiante, au lieu de feutre.

Piles Tommassi. — Ces piles, au nombre de 300, fonctionnent en ce moment pour charger les accumulateurs du même inventeur desservant le radiophone de l'administration des télégraphes.

La pile Tommassi se compose d'un vase extérieur en terre dans lequel plonge un vase poreux dont la hauteur est double du premier. Un fil de cuivre, ayant la hauteur du vase poreux et recourbé à sa partie inférieure de façon à former une circonférence horizontale, repose sur le fond du vase en terre, supporte des anneaux de zinc que l'on introduit de haut en bas autour du vase poreux. Dans ce vase poreux on place un charbon vertical et un vase long en verre plat du côté du charbon et épousant la forme du vase poreux sur la suite du pourtour de façon à ne laisser qu'un espace libre très étroit. Ce vase de verre se termine en haut par une sorte de goulot et en bas par une ouverture très petite, il repose sur un pied en terre de façon à laisser échapper le liquide qu'il contient à la hauteur des pieds.

Le vidage des piles se fait au moyen d'un siphon en caoutchouc qui fonctionne quand on le baisse, et le remplissage au moyen d'un tuyau muni de robinets au-dessus de chaque élément.

L'avantage de cet appareil consiste dans la réduction au minimum de la quantité de liquide dépolarisant, la suppression d'odeurs désagréables, les facilités d'entretien.

En passant dans la section allemande, les sociétaires s'arrêtent aux piles Meidinger à liquides superposés qui ont l'avantage d'avoir une résistance intérieure presque nulle; les piles Siemens et Halske offrent également quelque intérêt.

M. Achard, l'inventeur du frein électrique, reçoit les membres de la

Société à son exposition. — Il explique le mode de fonctionnement de son frein, actionné par un courant d'accumulateurs Planté constamment chargés par une batterie de pile Daniell.

L'exposition de M. Planté est intéressante, elle montre par quelle suite d'études ce savant est arrivé à la réalisation de sa pile secondaire. — A l'origine, M. Planté se proposait de transformer les courants de pile en électricité statique, c'est-à-dire passer d'un potentiel faible à un potentiel élevé; pour cela il faisait passer des courants de piles ordinaires dans un certain nombre de ses éléments secondaires réunis en quantité, il les chargeait puis au moyen d'un ingénieux commutateur, il les plaçait en tension et obtenait ainsi des effets considérables. Avec un courant primitif long mais peu intense, il faisait un courant brusque, fort et court. En un mot, il produisait sur un courant de pile la même transformation que Ruhmkorf avec sa bobine.

La visite se continue ensuite par les galeries du premier étage. On s'arrête successivement devant les piles de M. Bourdin dépensant « d'après l'inventeur » *un sou par jour*. Les éléments sont à base de chaux et de sel ordinaire.

M. Reynier conduit les sociétaires à son exposition particulière. Il a cherché et cherche encore à rendre la pile industrielle. Il montre une pile zinc-cuivre dans laquelle le vase poreux est remplacé par un diaphragme en papier parchemin. Cette pile consomme beaucoup de zinc; ce qui, aux yeux de certains inventeurs, paraîtrait être une cause d'infériorité, c'est une qualité au contraire, car tout le monde sait qu'une grande force électro-motrice ne peut provenir que d'une certaine quantité de matière usée. On ne produit de la vapeur qu'en brûlant de la houille, on ne produit dans une pile de l'énergie électrique qu'en consommant du zinc, le mieux c'est que cette énergie ne soit pas dépensée en résistances nuisibles.

Comme appareil nouveau, citons la pile à 2 charbons, de M. Warnon. Le charbon générateur est formé de 2 lames sur lesquelles on juxtapose une légère feuille de platine, assurant la dépolarisation. Le charbon générateur trempe dans un petit amas de mercure qui assure le contact avec le liquide. — La force électro-motrice de cette pile est de 1,800 volts. Sa durée est très longue. Elle peut actionner une sonnerie 750 heures sans être dérangée.

La Société examine en passant l'exposition de MM. Desruelles et Bourdorule. Ces inventeurs proposent de rendre solide toutes les piles; pour cela ils absorbent les liquides producteurs et dépolarisants par un corps inerte, l'amiante. Cette solution, qui peut rendre de grands services quand il s'agit de la télégraphie militaire, à l'inconvénient de laisser les résidus sous forme solide, ces résidus cristallins augmentent la résistance de la pile. Est-ce une bonne condition?

Une exposition qui a son importance est celle de M. Maiche. Cet inventeur explique aux sociétaires comment il a été conduit en 1869 à con-

struire sa pile à charbon rotatif. Lorsque l'hydrogène s'accumule sur le conducteur qui est le charbon et que la polarisation commence, on tourne le disque charbon, la dépolarisation se fait dans l'air. — M. Maiche a observé de plus que si l'on avait soin d'enduire d'une pellicule très mince de platine le charbon la pile dépolarisait. Ce fait est très sensible si l'on constitue un élément à double charbon, l'un préparé, l'autre neutre, on observe un très fort dégagement gazeux sur le charbon préparé. — Réunissant les deux idées de polarisation par l'air et par le charbon amalgamé, M. Maiche a constitué des piles de longue durée d'un entretien facile et d'une propreté irréprochable. Elles se recommandent surtout pour la télégraphie.

Avant de quitter les membres de la Société, M. Maiche a tenu à présenter un nouvel appareil l'Électrophone, qui paraît n'être autre chose qu'un Duplex-Téléphone. Cet appareil pourra à plus juste titre, être décrit lors de la visite spéciale qui sera faite à la séance du 5 novembre, consacrée à la téléphonie.

La visite se termine à 6 heures.

CHRONIQUE

SOMMAIRE. — Exploitation des petits chemins de fer à locomotives (*suite*). — Un chemin de fer à voie étroite. — État des travaux du chemin de fer du Gothard. — Concours international de machines de tramways à Arnheim. — Mélanges explosifs de gaz d'éclairage et d'air. — Compresseurs d'air. — Mesure des grandeurs électriques.

Exploitation des petits chemins de fer à locomotives (*suite*). — Le tableau des dimensions principales des locomotives, qui a été donné dans l'article précédent[1], ne doit pas être, d'après M. von Borries, considéré comme exprimant des chiffres absolus; ces chiffres sont au contraire susceptibles d'être modifiés suivant les circonstances. L'auteur ne regarde pas, comme on pourrait le supposer, la surface de chauffe comme l'élément principal pour les chemins de fer dont il est question ici; il s'agit surtout de donner aux machines un caractère robuste qui les mette à l'abri des chances d'accidents de toute sorte. Il y a plus de marge sur la contenance des caisses à eau et des soutes à charbon; aussi, avec une bonne construction et les données précédentes, peut-on atteindre pour les premières 160, 140 et 120 litres par tonne de poids de machine, suivant l'écartement de la voie et 50 à 40 décimètres cubes pour les secondes, également suivant la voie.

Si on compte 1,100 à 1,200 kilogrammes par mètre cube de charbon, on trouvera le poids du combustible que pourront porter les divers types de machines, poids qui dans les tableaux de M. von Borries varie de 900 à 450 kilogrammes.

M. von Borries est très partisan de l'emploi, pour ces locomotives légères, du système Compound, qu'il a appliqué lui-même sur les chemins de fer de l'État de Hanovre[2], surtout avec des pressions élevées. La machine Compound sera plus lourde du fait de ses cylindres de plus grandes dimensions; mais, comme elle dépensera moins d'eau et de combustible, la réduction des approvisionnements et de la chaudière compensera la différence et le poids restera le même que dans le tableau I. L'admission au petit cylindre ne devra pas dépasser la moitié de la course, ce qui, avec un rapport de 2 pour le volume des cylindres, donne une introduction finale de 0,25 pour une machine ordinaire. Le volume du grand cylindre

1. Chronique d'août, page 148.
2. Voir chronique de juin 1880, page 771, et de décembre 1881, page 653.

sera à peu près 2.25 fois le volume du cylindre de la machine ordinaire dont les dimensions sont contenues dans le tableau I, et, pour éviter de donner un trop fort diamètre à ce cylindre, on augmentera légèrement la course.

Les dimensions de ces machines sont données dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU III.

LOCOMOTIVES COMPOUND POUR PETITS CHEMINS DE FER.

VOIE.	NORMALE.		1m.00		0m.75	
Nombre d'essieux	2	3	2	3	2	3
Poids de la machine en service	18	27	15	22.5	7.5	11.3
Diamètre du petit cylindre	290	350	260	320	190	230
Diamètre du grand cylindre	400	480	360	440	260	320
Course des pistons	560	560	460	460	340	340
Diamètre des roues	980	980	800	800	600	600

Le poids adhérent et l'effort de traction de ces machines sont les mêmes que ceux des machines ordinaires du tableau I.

L'auteur examine ensuite le cas des machines dans lesquelles le poids propre est augmenté artificiellement au moyen d'une charge supplémentaire placée sur la locomotive. Comme la puissance de la chaudière n'est pas augmentée, la vitesse sur les rampes doit être réduite proportionnellement à l'augmentation du poids adhérent. La limite est évidemment atteinte lorsque toute la charge à traîner sera portée par la machine, et cette limite serait théoriquement une rampe de 1 sur 7.5 ou 13.3 pour 100. Cette solution ne doit être applicable que très exceptionnellement. Ordinairement on place sur la machine les bagages et au besoin des voyageurs, en laissant les marchandises sur des wagons indépendants remorqués par la première. Comme les lignes à fortes rampes ont généralement des courbes de faible rayon, les voitures à vapeur sont ordinairement composées d'une caisse portée par deux trucs ou bogies. La machine est sur le bogie d'avant, après vient le compartiment des bagages, puis la partie destinée aux voyageurs. Un système préférable consiste à avoir la machine faisant corps avec les roues d'avant et à réunir le reste du véhicule à cette partie par un attelage facilement démontable, pour qu'on puisse les séparer si la machine proprement dite doit rentrer à l'atelier pour des réparations sérieuses. Toutes les voitures à vapeur construites jusqu'ici n'ont que les roues ou le bogie d'avant commandés par le moteur, mais il n'y a pas de raison pour que le moteur ne commande pas également le bogie d'arrière. Il semble que ce serait là une application convenable du système Com-

pound Mallet[1], le petit cylindre actionnerait le bogie d'avant et le grand cylindre le bogie d'arrière, le tuyau de communication articulé entre les deux cylindres servant de réservoir intermédiaire. Mais ce serait trop compliqué et coûteux, et l'auteur pense que pour des inclinaisons assez considérables pour justifier cet arrangement, il vaudrait mieux employer une crémaillère. Pour service de voyageurs la vitesse ne doit pas, sur la pente la plus forte, descendre au-dessous de 6 kilomètres, et, puisque la machine seule marcherait à une vitesse double, il n'y a pas d'avantage à porter l'adhérence totale à plus du double de l'adhérence propre de la machine. Le bogie d'avant pourrait porter deux tiers du poids total et le bogie d'arrière un tiers.

Quant à ce qui est de la comparaison à faire entre la voiture portant son moteur et la machine séparée, on peut dire que, si la première a l'avantage de réaliser un moteur plus léger et meilleur marché, elle a les inconvénients d'une réduction de vitesse sur les rampes, d'une plus grande usure sur la voiture proprement dite, et de manœuvres plus difficiles, notamment pour tourner sur les plaques. On ne doit donc recourir à ce moyen que lorsque les rampes dépassent 30 millièmes; l'emploi en sera donc très limité. Les dimensions du moteur seront celles qui figurent dans le tableau I, à l'exception de la chaudière qui devra être faite de 50 pour 100 plus forte. Deux hommes suffisent pour le service d'une voiture à vapeur, mais ils doivent tous deux pouvoir la conduire et on doit établir une porte de communication entre l'emplacement du moteur et les compartiments de voyageurs, pour que celui des deux employés qui fait le contrôle des billets et le service des bagages puisse au besoin communiquer avec son collègue qui est à la machine. Des voitures de ce genre ont été employées sur le chemin de fer de ceinture de Berlin.

A côté du matériel de traction employé sur les lignes secondaires dont il vient d'être question, on a à examiner la question du matériel destiné à faire le service secondaire ou service local ou omnibus, comme on l'appelle quelquefois, sur les grandes lignes, question qui a pris une certaine importance depuis quelques années, surtout à l'étranger[2]. Le trafic local qui exige des trains fréquents et légers ne s'accommode pas du matériel puissant et lourd du trafic général, et il lui faut un matériel spécial. La vitesse ne doit pas dépasser 30 à 40 kilomètres de niveau. On peut distinguer deux cas : 1° le service entre deux stations ordinaires, et 2° le service de banlieue des grandes villes.

Pour le premier, l'auteur préfère des trains formés d'une machine, d'un fourgon, d'une voiture mixte de 2me et 3me classe et d'une voiture de 4me classe (système allemand), et, pour le second cas, des voitures mixtes de 2me et 3me de construction spéciale. Dans les deux cas, on emploiera les

1. Nous reproduisons textuellement ce que dit à ce sujet M. von Borries, mais nous croyons devoir faire observer que si nous avions à appliquer nous-même notre système à une machine de ce genre, nous nous y prendrions autrement. A. M.

2. Chronique de décembre 1880, page 650.

freins continus et une communication pour les employés dans toute la longueur du train.

On emploie pour ce genre de service les voitures à vapeur; ce système à l'avantage d'économiser les tampons et les attelages dont le poids représente environ 500 kilogrammes. Mais ces voitures ne peuvent pas marcher avec sécurité dans les deux sens, il faut donc les tourner aux terminus, ce qui n'est pas toujours facile. Les voitures ordinaires font généralement un parcours double de celui des machines, on ne peut opérer ainsi avec les voitures à vapeur. On peut, il est vrai, pour la facilité des réparations, rendre le moteur séparable de la voiture, mais il en résulte une complication.

Il y a donc peu de cas où on doive donner la préférence à ces voitures. Une voiture ordinaire des grandes lignes pesant 8 tonnes contient 40 places, c'est donc 200 kilogrammes par place. Si le nombre de voyageurs à transporter est inférieur à 40, on pourra employer la voiture à vapeur, mais elle devra être portée sur deux essieux.

Comme on l'a vu plus haut, une machine légère ne peut utiliser son adhérence totale qu'à la vitesse de 12 kilomètres. Pour une machine destinée au trafic local, la vitesse dans ces conditions peut être élevée à 15 kilomètres avec une production de vapeur plus active; mais cette vitesse est encore insuffisante pour ce genre de service, même sur les plus fortes rampes. La machine indépendante ne pourra donc jamais utiliser son adhérence complète, et encore moins pourra-t-elle utiliser une adhérence supplémentaire; il semble donc que la question est nettement résolue contre la voiture à vapeur.

Si on passe à l'étude des locomotives indépendantes, on voit tout d'abord que la relation entre le poids de machines-tenders de types bien étudiés pour la voie normale et la surface de chauffe s'écarte peu de la relation $P = 5 + (0,3\ S)$, P étant le poids en tonnes et S la surface de chauffe en mètres carrés. Cette relation s'applique aux machines de ce genre, construites par Krauss et Cie et par Henschel et Cie[1], pour service secondaire. Si on suppose une machine à un essieu moteur seulement, portant 0,6 du poids total, la puissance de la machine se trouve être de $133 \times 0,6 \times (5 + 0,3\ S) \times 1000 \times v$, v étant la vitesse en kilomètres à l'heure. D'autre part, si on suppose une production de vapeur de 30 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe totale et par heure, la vaporisation totale sera de 30 S, et en comptant le travail de la vapeur à raison de 31,000 kilogrammètres par kilogramme de vapeur, on aura pour le travail total $\frac{31000 \times 30\ S}{1.065}$, en comptant 6.5 pour 100 pour la résistance propre de la machine à roues indépendantes. Si on égale les

1. Elle s'applique également aux deux types de machines Compound du chemin de fer de Bayonne à Biarritz, qui sont à peu près du même genre, machines légères pour voie normale.

deux expressions, on obtient : $v = \frac{11 S}{5 + 0,3 S}$, d'où on tire les valeurs suivantes :

S.	10	20	30	40	50 mètres carrés.
P.	8	11	14	17	20 tonnes.
v.	14	20	24	26	28 kilomètres.

Ces vitesses étant parfaitement admissibles sur des lignes comportant des inclinaisons de 1 pour 100, on voit qu'il suffit d'un essieu moteur ; c'est pour cela qu'on n'emploie pas l'accouplement dans la plupart des machines de ce genre. On peut citer comme exemple les machines des trains omnibus du chemin de Berlin-Görlitz, du chemin de Berlin-Hambourg, du chemin de fer militaire. Avec un seul essieu-moteur on peut disposer les cylindres entre les deux essieux, l'essieu d'avant étant libre[1] ; on peut ainsi obtenir une bonne répartition du poids sur les roues.

Mais si les inclinaisons sont supérieures à 1 pour 100, il faut modifier la construction et accoupler les essieux pour utiliser tout le poids.

En résumé, M. von Borries propose les bases ci-dessous pour les dimensions principales des locomotives destinées à faire le service local ou omnibus.

Poids en service avec approvisionnements = 5 + 0,3 de la surface de chauffe.

Poids adhérent = 0,6 du précédent.

Vaporisation = 30 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Pression 12 atmosphères.

Effort maximum de traction à la jante des roues = 0,133 du poids adhérent. Le diamètre des cylindres sera donné par la relation $d^2 = \frac{F . D . 1.065}{5\, l}$, dans laquelle d est le diamètre, l la course, D le diamètre des roues et F l'effort de traction ; le coefficient 1.065 est introduit pour tenir compte de la résistance propre du mécanisme pour machines à roues libres.

Les capacités des caisses à eau et des soutes à combustible seront respectivement 0,16 et 0,05 de mètre cube par tonne de poids de la machine.

Les caisses à eau seront disposées sous la chaudière entre les longerons et entre les deux essieux ; l'essieu d'avant qui porte 0,4 du poids aura un ressort transversal et l'essieu d'arrière, chargé des 0,6, deux ressorts longitudinaux.

Le tableau ci-dessous résume d'ailleurs les dimensions principales de ces machines.

1. La fabrique de machines Hohenzollern, à Dusseldorf, construit des machines à deux essieux accouplés, avec les cylindres entre les essieux ; les bielles d'accouplement ont nécessairement un très grand porte-à-faux sur les roues.

TABLEAU IV.

VOIE.	NORMALE.		1m.00		0m.75	
Poids en service	8	11	14	17	20	tonnes.
Poids adhérent	4.8	6.6	8.4	10.2	12	id.
Surface de chauffe (intérieure)	10	20	30	40	50	m²
Surface de grille	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	id.
Pression	12	12	12	12	12	atmosph.
Diamètre des roues	980	980	1.130	1.130	1.330	m/m.
Diamètre des cylindres	180	200	240	260	280	id.
Course des pistons	300	360	400	400	500	id.
Capacité des caisses à eau	1.3	1.8	2.2	2.7	3.2	m³
Contenance des soutes à combustible	0.48	0.66	0.84	1.02	1.2	id.
Écartement des essieux	2.500	3.000	3.300	3.500	3.800	m/m.
Effort de traction à la jante	600	880	1.120	1.360	1.600	kilogr.
Vitesse minima	15	20	24	26	28	kilomèt.

Si on emploie le système Compound, les dimensions des cylindres seront données par le tableau suivant.

TABLEAU V.

VOIE.	NORMALE.		1m.00		0m.75	
Poids en service	8	11	14	17	20	tonnes.
Course des pistons	340	400	440	440	500	m/m.
Diamètre du petit cylindre	180	200	240	260	290	id.
Diamètre du grand cylindre	250	280	330	360	400	id.

M. von Borries est obligé dans ses Compound d'augmenter les dimensions du petit cylindre en diamètre ou en course par rapport aux cylindres de la machine ordinaire parce qu'il n'utilise pas, pour l'effort maximum, l'action directe de la vapeur sur les deux pistons.

Dans un autre article, l'auteur donnera les résultats de service des machines et s'occupera des cas où les rampes maxima sont supérieures à 1 pour 100. (*A suivre.*)

Un chemin de fer à voie étroite. — La voie la plus réduite pour un chemin de fer faisant un service régulier est probablement la voie de 0m,25 — 10 pouces anglais — du chemin de fer de Bedford à North-Billerica, dans l'État de Massachussets, États-Unis. D'après l'*Eisenbahn*, ce chemin secondaire ou plutôt tertiaire, a une longueur de 14 kilomètres ; il présente plusieurs ouvrages d'art, notamment onze ponts dont l'un a 30 mètres de longueur. Les rails pèsent 12.5 kilogrammes par mètre courant.

Le matériel est proportionné à la largeur de la voie. Les voitures à voyageurs ont un passage au milieu et un siège de chaque côté, elles sont installées avec tout le confortable qu'on rencontre sur les chemins de fer des États-Unis; elles contiennent 30 voyageurs et pèsent 4,5 tonnes. Les machines ont un poids de 8 tonnes en service. Les trains se composent généralement de deux voitures à voyageurs et de deux wagons à marchandises et marchent à la vitesse de 32 kilomètres à l'heure.

État des travaux du chemin de fer du Gothard. — Voici la situation des travaux du chemin de fer du Gothard, fin juin 1881.

1° Grand tunnel, longueur.	14,912 mètres.
Percement en galerie.	14,912
Élargissement.	14,884
Cunette inférieure.	14,884
Strosse.	14,871
Section totale.	14,332
Muraillement de la voûte.	12,084
Muraillement total.	11,805
Tunnel terminé.	11,132

2° Sections d'accès.

Terrassements.	91 p. 100
Maçonneries.	83 p. 100
Tunnels secondaires, longueur.	23.177 mètres.
Percement.	100 p. 100
Élargissement.	94
Strosse.	89

(*Eisenbahn*).

Concours international de machines de tramways à Arnheim. — La Compagnie des tramways d'Arnheim, désirant employer la traction mécanique tant pour les tramways dans la ville, que pour ceux des environs, avait institué un concours pour juger des qualités respectives des divers systèmes de machines employés jusqu'ici pour ce genre de service. Le concours s'est terminé ces jours derniers. Le jury se composait de cinq membres techniques auxquels étaient adjoints trois ingénieurs du contrôle, et était présidé par l'ingénieur en chef du matériel des chemins de fer de l'État Hollandais, M. Stous Slot, d'Utrecht.

A ce concours, où on ne devait donner qu'une seule récompense, une médaille d'or, prirent part divers constructeurs Anglais, Suisses et Allemands, savoir : Merryweather de Londres, la Société Hohenzollern, de Dusseldorf, la fabrique de machines de Winterthur et Krauss et Cie, de Munich ; on fit fonctionner sur les tramways de la ville chaque machine

pendant 14 jours de suite, la charge étant la même, 10 tonnes derrière la machine.

La voie avait à peu près 10 kilomètres de longueur, elle était établie avec des rails Demerbe, la rampe maxima était de 30 millièmes et le plus petit rayon des courbes de 20 mètres. On observa avec le plus grand soin le fonctionnement, la consommation, la condensation, l'effet des freins, etc., ces éléments servirent à former une sorte de classement des machines par ordre de mérite; d'après ce classement, le prix, c'est-à-dire la médaille d'or, fut décerné à MM. Krauss et Cie, de Munich. La machine primée a dépensé en moyenne 3.34 kilogrammes de coke, allumage compris; 2.50 kilogrammes, allumage déduit; et $0^k.023$ de matières grasses par kilomètre de parcours.

Mélanges explosifs de gaz d'éclairage et d'air. — La composition d'un gaz combustible étant connue, il est facile de déterminer la proportion d'oxygène nécessaire pour en opérer la combustion complète. Le volume d'oxygène pur nécessaire pour produire la plus grande force d'explosion avec le gaz de houille de composition moyenne, n'est pas beaucoup plus grand que celui du gaz lui-même, et comme il n'y a dans l'air qu'un cinquième d'oxygène, il faudrait de 5,5 à 6 volumes d'air pour produire la combustion complète d'un volume de gaz.

En pratique on trouve qu'il faut 8 volumes d'air pour avoir la plus grande force d'explosion, soit un neuvième de gaz dans le mélange ou 11 pour 100; c'est la proportion qu'on emploie dans les machines à gaz.

Le gaz de houille ne s'enflamme qu'à une température assez élevée. Ainsi on peut mettre le mélange détonant en contact avec un corps chauffé au rouge sombre sans produire d'explosion, quelque grand que soit le volume de ce corps, tandis qu'il suffira de la plus faible particule chauffée au rouge clair pour déterminer la détonation.

La facilité avec laquelle l'étincelle électrique produit cet effet en est une preuve. La vitesse avec laquelle l'explosion se propage dans un mélange d'oxygène et de gaz inflammable varie avec la nature de ce gaz. Avec l'oxygène et l'hydrogène mélangés dans les proportions de combinaison, la vitesse de propagation est de 34 mètres par seconde, tandis qu'avec l'oxyde de carbone, elle n'est que de 1 mètre par seconde; la présence des gaz inertes, tels que l'azote, retarde encore l'avancement.

D'après les expériences de Mallard, des mélanges contenant moins de 0,117 ou plus de 0,235 de gaz ne sont pas explosifs. L'analyse d'un mélange de ce genre permet donc de déterminer immédiatement s'il est ou non explosif. Le procédé le plus simple est de déterminer la proportion d'oxygène, on en déduit le volume d'air et par différence celui du gaz. La force de l'explosion dépend non seulement de la composition du mélange, mais aussi de la forme des récipients où il est contenu. Ainsi dans un vase sphérique de

volume donné, on obtiendra une pression plus considérable par l'explosion que dans tout autre vase de même volume, mais de forme différente.

Dans un tube de petit diamètre un mélange détonant peut brûler sans explosion par suite de l'effet de refroidissement des parois. Si le diamètre du tube est très faible, l'explosion ne se propagera pas dans le tube parce que les parois empêchent les gaz d'acquérir la température nécessaire pour l'inflammation. Lorsque le mélange sort d'un tube sous une certaine pression, l'explosion ne peut pas rentrer dans le tube, de sorte qu'il n'y a pas de danger réel si un mélange détonant se produit accidentellement dans des conduites de gaz sous la pression usuelle.

(*Journal für Gasbeleuchtung*).

Compresseurs d'air. — Le docteur Robert Grimshaw a lu dans la séance du 18 mai 1881, de l'Institut de Franklin, une intéressante communication sur les appareils à comprimer l'air, dont voici un résumé :

L'air comprimé est employé à la transmission des forces, comme moteur principal ou auxiliaire dans diverses industries, mines, carrières, fondations de pont, percement de tunnels, production du froid, sucreries, usines de produits chimiques, forges et aciéries, ventilation des mines et des édifices, transport des dépêches et colis dans des tubes, traction sur les tramways, etc. Son emploi est propre et commode et ne donne pas lieu à un dégagement de gaz nuisibles. Pour la transmission des forces, il a sur la vapeur l'avantage de pouvoir être transporté à grande distance sans perte par condensation ou refroidissement; il est plus sec et plus froid que la vapeur, et dans les mines et tunnels, au lieu de pourrir les bois et d'élever la température des galeries, il les rafraîchit et les aère.

On peut l'envoyer dans toutes les directions et avec des tubes flexibles, le faire suivre les travaux au fur et à mesure de leur avancement. Son emploi est économique et entraîne peu de pertes par frottements dans les conduites. Comme exemple de ce fait, on peut citer le tunnel de Hoosac où de l'air envoyé à 2,150 mètres dans des tuyaux de $0^m,20$ de diamètre, n'a perdu que 140 grammes de pression par centimètre carré, soit 1/7 d'atmosphère sur $4^{kg},70$.

L'auteur se propose de décrire sommairement les progrès successifs de l'air comprimé, comme agent industriel et des principaux types d'appareils usités pour sa production.

Ctesibius découvrit que l'air était compressible, et son disciple, Héron d'Alexandrie, écrivit un traité sur ce sujet; mais depuis cette époque jusqu'à Papin, la question fit peu de progrès. Papin proposa l'emploi de l'air comprimé pour la mise en mouvement de machines. En 1726, dans une patente prise en Angleterre, Rowe proposa d'élever l'eau par l'air comprimé, et en 1753, Hall, à Schemnitz, éleva l'eau par ce moyen à 35 mètres de hauteur.

En 1757, Wilkinson, dans une patente anglaise, indique l'emploi de l'air

comprimé pour souffler des fourneaux, avec une série de récipients et une colonne d'eau pour opérer la compression. (Il est à remarquer qu'on a plus tard fréquemment employé ou proposé l'eau comme intermédiaire pour la compression.) En 1810, Brunel père, dans une patente portant son nom, décrit quelque chose qui, fondé sur l'air comprimé, ressemble singulièrement au mouvement perpétuel.

En 1828, Bompas, dans une spécification provisoire anglaise, propose de faire mouvoir les locomotives par l'air comprimé, et la même année, Colladon [1] propose à Brunel de l'employer dans le tunnel sous la Tamise.

En 1829, Mann propose de faire marcher les machines fixes et locomotives par de l'air comprimé dans une série de pompes de diamètre successivement réduit pour aller jusqu'à 64 atmosphères. Il est à noter que c'est là l'origine du système de compression successive ou à étagement.

En 1836, apparaît le réservoir ajouté aux appareils de compression, et en 1841 Von Rathen propose de nouveau l'emploi de l'air comprimé pour faire marcher les locomotives. En 1844, Caligny emploie le bélier hydraulique pour la compression de l'air, et la même année, Parsey patente l'application à la mise en mouvement des voitures.

En 1847, Von Rathen introduit l'emploi de l'eau pour absorber la chaleur développée par la compression. En 1852, Colladon [2] patente l'application de l'air comprimé à la mise en mouvement des perforatrices pour le percement des tunnels, une des plus importantes applications actuelles de cet agent.

En 1853, Sommeiller invente le compresseur hydraulique ou plutôt l'emploi des grandes masses d'eau en mouvement en addition à un piston mobile.

En 1853 également, Anderson patente l'injection d'eau froide dans le cylindre des pompes de compression.

La même année, Piatti propose l'emploi de l'air comprimé pour faire mouvoir les perforatrices pour le tunnel du mont Cenis, et l'année suivante, Parsey réalise un progrès considérable en mettant les soupapes sur les fonds des cylindres. En 1861, des perforatrices mues par l'air comprimé fonctionnaient dans le tunnel du mont Cenis.

En 1863, Stewart et Kershaw font un cylindre horizontal rempli d'eau et relié à deux réservoirs d'air verticaux, dans lesquels l'air est comprimé alternativement.

En 1864, Coughlin reprend la question de la compression par étagement

1. L'éminent ingénieur et professeur genevois, membre de notre Société.

2. La collaboration, à ce titre, de M. Colladon au percement du tunnel du mont Cenis, a été officiellement, bien que tardivement, reconnue; il n'est pas besoin de parler de son concours dans le percement du tunnel du Gothard. Dans le mémoire annexé à sa demande de brevet faite, en 1852, au Gouvernement Sarde, M. Colladon proposait d'utiliser les chutes d'eau au moyen de turbines, il indiquait le moyen de rafraîchir les pompes comprimantes par une enveloppe d'eau ou par une injection intérieure, et il parlait aussi des pompes à piston liquide.

en ajoutant des réservoirs intermédiaires pour régulariser la pression; mais, chose singulière, il ne paraît pas s'être aperçu de l'avantage important que présentait cette disposition au point de vue du refroidissement de l'air comprimé.

En 1866, on employa au tunnel de Hoosac des compresseurs à cylindres horizontaux, et l'année suivante on leur substitua des pompes verticales.

En 1867, Douve construisit, aux États-Unis, un compresseur horizontal à simple effet, avec les soupapes d'aspiration dans le piston, et les soupapes de compression occupant toute la surface du fond du cylindre avec des ressorts pour les maintenir.

En 1869, Marchant proposa l'emploi d'air comprimé avec de l'eau dans le but de produire de la vapeur et de réchauffer l'air, avec quelque idée vague d'accroître l'effet utile.

En 1873, Sturgeon produisit un compresseur à grande vitesse, avec cylindres à air et à vapeur, un de chaque côté d'un réservoir, avec un arbre coudé et un volant; les manivelles étaient calées à angle droit pour que le plus grand effet de la vapeur eut lieu au moment de la pression maxima de l'air dans le cylindre de compression.

En 1874, William Johnston, de Philadelphie, proposa d'employer une série de cylindres concentriques tournant sur un axe fixe et ayant leur moitié inférieure pleine d'eau, la surface de l'eau agissant à la façon du piston d'une pompe; ce système était employé avec étagement des pressions.

Dans le compresseur primitif de Burleigh, les manivelles étaient à angle droit et le cylindre de compression vertical pour que les soupapes pussent se fermer par leur propre poids. Le refroidissement était opéré par une injection d'eau, les soupapes étaient formées de disques circulaires; le piston à vapeur, d'abord horizontal, fut disposé verticalement; actuellement les cylindres à air sont fermés au fond et on emploie un type de moteur plus économique. Les compresseurs en usage actuellement sont humides ou secs, suivant qu'ils travaillent avec ou sans eau. Les compresseurs à sec avaient à l'origine l'inconvénient de n'avoir pas leurs soupapes étanches et d'éprouver des ruptures fréquentes dans ces organes; ces difficultés ont disparu par suite de l'emploi de soupapes en caoutchouc.

Le type bien connu de Dubois et François est horizontal et emploie de grandes masses d'eau en mouvement avec le piston, les soupapes d'aspiration à chaque extrémité du cylindre sont inclinées, et les soupapes de refoulement placées au-dessus sont verticales.

Le compresseur Ingersoll, tel qu'il est construit actuellement, est vertical avec traverses et guides et moteur à détente variable, ce dernier perfectionnement accroît le rendement de 20 pour 100 et économise 25 pour 100 de combustible. Les manivelles sont en fer forgé. Ce compresseur a un cylindre à vapeur et un cylindre à air, tous deux horizontaux placés côte à côte (chaque cylindre ayant sa plaque de fondation séparée), et solidement boulonnés ensemble. Les soupapes d'aspiration sont rem-

placées par un tiroir appuyé par des ressorts et mu par un excentrique calé sur l'arbre, la pression du refoulement régnant dans la boîte à tiroir; les soupapes de refoulement sont des clapets placés à la partie supérieure à chaque extrémité du cylindre.

Dans le compresseur double à longue course de Clayton, il y a une enveloppe d'eau dans les fonds pour rafraîchir les cylindres à la place où se produit surtout l'échauffement, l'eau chaude sort à la partie supérieure. Les soupapes de refoulement sont soulevées par un mécanisme réglable à volonté pour laisser sortir l'air dès qu'il a atteint la pression voulue. Le cylindre reçoit une injection d'eau à chaque coup. Les guides de la tige de piston sont construits avec double rattrapage de jeu. Il y a un régulateur à air pour rendre la pression constante. Les soupapes d'aspiration qui ouvrent à l'intérieur des cylindres ont des tiges de sûreté pour prévenir leur chute ou tout autre accident en cas de rupture de la tige ou de l'écrou.

Dans le nouveau compresseur horizontal à sec de Rand, le cylindre à vapeur a une distribution à soupapes et une détente variable automatique. Les cylindres sont placés côte à côte sur la même plaque de fondation, les manivelles sont à angle droit. Il y a une circulation d'eau dans le piston, dans le fond de cylindre et autour du cylindre[1], ce dernier a une double enveloppe, dont la plus près du cylindre de travail contient l'eau de circulation et l'extérieure l'air comprimé. Le réservoir d'air reçoit l'air comprimé à une extrémité, et le laisse sortir à l'autre par une soupape de sûreté.

Dans le compresseur à grande vitesse de Norwalk, l'air est pris à l'extérieur de la chambre de la machine pour qu'il soit plus frais. Les soupapes sont à clapets, la compression se fait dans des cylindres successifs avec tube rafraîchisseur entre deux. Il y a un régulateur à air et une disposition pour charger des locomotives de mines, au moyen de laquelle un compresseur auxiliaire est mis en action lorsqu'il est nécessaire. Le cylindre à basse pression aura, par exemple, une section de 100, et le cylindre à haute pression une section de 33.3, l'air passant du grand au petit cylindre est comprimé à 2 kilogrammes, la résistance est alors $66.6 \times 2 = 133.2$ et la pression finale est de 6, donnant une résistance de $33.3 \times 6 = 199.8$. Total 333.3, au lieu de $100 \times 6 = 600$ qu'on aurait avec le grand cylindre seul. Les soupapes de refoulement dans le compresseur à un seul cylindre portent la pression totale, tandis que dans le compresseur Compound cette pression n'agit que sur les soupapes du petit cylindre. On peut atténuer l'influence de l'espace nuisible, soit au moyen de longues courses et de faibles jeux aux extrémités du cylindre, ce qui est coûteux et dangereux, soit au moyen de colonnes d'eau, ce qui empêche le fonctionnement accé-

1. Cette disposition a été brevetée par M. Colladon, le 11 septembre 1871, et appliquée immédiatement à la compression du gaz pour l'éclairage des trains du chemin de fer de la haute Italie.

léré et fait mousser l'eau qui est projetée dans les appareils et y forme de la glace.

L'enveloppe à circulation d'eau n'a pas le temps de rafraîchir suffisamment l'air, mais elle est toujours d'un secours utile.

Dans la patente prise par M. W. P. Tatham, président de l'Institut de Franklin, il y a un piston à vapeur et un piston à air, agissant sur des leviers oscillants portés par un arbre, la combinaison étant telle, que les bras de levier se modifient proportionnellement pour que la pression motrice sur le piston à vapeur soit en rapport avec la pression résistante sur le piston à air.

Les soupapes de refoulement sont soulevées automatiquement, mais le diagramme de l'indicateur fait voir une perte par l'absence d'eau dans le cylindre, l'air comprimé restant dans celui-ci se dilate au retour du piston pendant un cinquième de la course. Le diagramme relevé sur le compresseur de Clayton, a été pris à la vitesse de 70 tours, 5 kilog. de pression à la chaudière, admission à 52 pour 100, et pression de l'air comprimé à 7 kilog.

Autant que possible un bon compresseur doit être simple de construction, avoir une grande section de soupapes, donner de l'air à basse température, s'user peu, être économique d'achat, de service et d'entretien, ne pas exiger de fondations coûteuses et ne pas être sujet aux accidents. Il est généralement désirable que l'action soit directe et les espaces neutres aussi réduits que possible.

A la suite du résumé du mémoire de M. Grimshaw, nous croyons juste de faire remarquer que la partie historique de ce mémoire est extrêmement incomplète. Ainsi, pour ne citer que quelques points, elle ne fait aucune mention des remarquables travaux sur l'air comprimé de MM. Andraud, Julienne et Tessié du Motay, antérieurs, croyons-nous, à 1840, et indique à peine une des applications les plus importantes de l'air comprimé, qui a fait, la première faire, des progrès à la construction des pompes de compression, notamment au point de vue du refroidissement de l'air, les fondations à l'air comprimé.

On peut également éprouver quelque étonnement de ne pas voir la moindre allusion à l'emploi de l'air comprimé pour la mise en mouvement des voitures de tramways, réalisée également, en France, par notre collègue, M. Mékarski, et en Angleterre par le colonel Beaumont.

Mesure des grandeurs électriques. — Le Bulletin de la *Société scientifique industrielle de Marseille* contient une remarquable étude de M. Ternant sur les épreuves électriques pratiques des câbles sous-marins, dont nous nous bornerons à résumer la partie qui concerne la mesure des grandeurs électriques, mesure généralement peu connue et qui devrait l'être davantage au moment où l'électricité paraît appelée à jouer un rôle si considérable.

Les phénomènes électriques se manifestant par des actions mécaniques, calorifiques et chimiques, l'équivalent mécanique de la chaleur permet de

mesurer, en unités mécaniques de longueur, de temps et de masse, tous les phénomènes électriques qui se produisent dans les conducteurs sous l'influence des courants. Cette mesure des grandeurs électriques nécessite l'emploi du mot et de l'idée *potentiel* et de diverses unités spécialement dénommées, servant à exprimer chacune des grandeurs électriques. On peut définir le potentiel comme l'état d'équilibre dans un conducteur ou le passage de l'électricité d'un point à un autre dans ce conducteur, c'est donc la propriété de l'électricité qui détermine son mouvement; c'est l'analogue du terme *pression* appliqué aux fluides et aux gaz et du mot *température* appliqué à la chaleur. De même que la chaleur ne peut passer d'un point à un autre d'une masse conductrice sans différence de température et que les fluides ne peuvent se transporter d'un point à l'autre d'une conduite ouverte ou fermée sans différence de niveau ou de pression, de même l'électricité ne peut être transmise d'un point d'un conducteur à un autre sans que ces deux points soient soumis à un potentiel différent. Ce transfert de l'électricité se nomme *courant* et la vitesse de son écoulement ou sa force entre deux points reliés par un conducteur varie avec la différence de potentiel de ces deux points.

La force du courant, comme l'écoulement de l'eau dans un tuyau de diamètre uniforme, est la même à tous les points, mais son potentiel varie à chaque point, et, s'il ne variait pas, il n'y aurait pas de courant. Le transfert s'opère du potentiel le plus élevé au plus faible, et la connaissance de la chute du potentiel fait reconnaître la direction du courant. Si la résistance du conducteur reste constante, la vitesse de la chute varie directement avec la différence du potentiel; si cette différence reste constante, la vitesse de chute varie en raison inverse de la résistance du conducteur. On sait que, d'après la loi de Ohm, la force du courant varie directement avec la force électro-motrice ou différence de potentiel produisant ce courant et inversement avec la résistance apportant un obstacle à l'écoulement de ce courant. On peut donc représenter le potentiel d'un courant à chaque point d'un circuit par une ordonnée verticale à ce point, ordonnée proportionnelle à la valeur du potentiel à cet endroit; le potentiel de la terre étant considéré comme nul sera pris comme ligne de zéro.

Le Comité de l'Association britannique des étalons électriques a adopté des mesures qui sont aujourd'hui acceptées par tous les services télégraphiques du monde et, à ce titre, il est indispensable de les connaître.

Un câble se compose : 1° d'un conducteur métallique; 2° d'un milieu isolant de gutta-percha, caoutchouc et autres matières, et 3° d'un coussinet-enveloppe formé de cordelettes de chanvre et de fils de fer formant armure extérieure contre les accidents. On recouvre encore l'armure, pour la préserver de l'oxydation, de chanvre grossier imbibé de bitume silicaté.

Lorsqu'un courant électrique parcourt un câble, il se produit les phénomènes suivants :

1° La conductibilité électrique est limitée par la résistance que le métal du conducteur oppose au courant. Cette résistance varie avec les dimensions du conducteur, la pureté du métal et la température. L'unité de résistance a reçu le nom d'*Ohm*. Des bobines de résistance formant une série s'élevant jusqu'à 10,000 unités permettent de mesurer avec précision la résistance métallique des conducteurs; on se sert pour cela du *Pont* ou Balance de Wheatstone;

2° L'isolement du diélectrique oppose à la disperdition par le milieu isolant une résistance qu'on peut mesurer avec la même unité; seulement comme pour le diélectrique la quantité est beaucoup plus considérable, on prend le *Megohm* qui représente un million d'Ohm. Le sous-multiple, le *Microhm*, n'est pas usité en pratique;

3° L'induction ou condensation qui se produit dans un câble qui constitue, en réalité, une immense bouteille de Leyde, exige la mesure des phénomènes d'induction connus sous le nom de charge. Les décharges étant proportionnelles aux charges, on mesure la décharge obtenue sur un câble, après un temps donné, et on la compare à celle qui provient d'un condensateur (bouteille de Leyde de forme spéciale), dont la capacité électro-statique est connue. Cette capacité est établie en fonction de l'unité désignée sous le nom de Farad (hommage à Faraday). Les condensateurs sont généralement construits de manière à représenter un tiers de microfarad ou millionième partie de Farad. Cette capacité électro-statique est environ celle d'un mille marin de la plupart des câbles sous-marins actuels. Elle donne ainsi un moyen facile et sûr d'apprécier la capacité d'un câble de longueur définie.

La pile qui sert aux mesures électriques des phénomènes décrits ci-dessus a une force électro-motrice qu'il convient de pouvoir mesurer. On emploie pour cela l'unité désignée sous le nom de Volt (hommage rendu à Volta). M. Latimer Clark a proposé une autre unité, souvent employée en Angleterre et qu'on appelle *le Weber*, qui représente l'unité de quantité, c'est-à-dire celle que contiendrait un *Farad* électrifié au potentiel d'un *Volt*. On désigne cette quantité sous le nom de *Farad* (dont le sous-multiple plus employé en pratique est le microfarad ou millionième de Farad), et on appelle également Farad l'unité de courant parce que sa vélocité représente un Farad par seconde.

Tous ces étalons sont dérivés des unités fondamentales de longueur, de poids et de temps qui sont le centimètre, le gramme et la seconde.

On fait d'ailleurs précéder les noms de ces unités des préfixes, mega ou micro, et on obtient les multiples et sous-multiples, megavolt qui est un million de Volt, microvolt, un millionième de Volt et expressions analogues pour les autres unités.

On prend pour source d'électricité, pour les mesures dont il vient d'être question, la pile de Daniell modifiée sous forme d'élément Minotto ou Siemens.

En attendant qu'on trouve pour la force électro-motrice et la résistance des piles un étalon en fonction du Volt, on exprime souvent la force électro-motrice ou différence de potentiel d'une pile par rapport à la force électro-motrice que produit la pile de Daniell. La force électro-motrice de cet élément est d'environ 100,000,000 d'unités absolues (centimètre, gramme, seconde) et elle est d'ailleurs assez uniforme.

M. Latimer-Clark a proposé un étalon obtenu au moyen d'une sorte de pile à mercure qui ne peut servir à produire des courants, car sa force tombe immédiatement si on le met en court circuit, mais dont l'objet est de servir comme étalon de force électro-motrice afin de la comparer à d'autres éléments au moyen de l'électromètre ou du condensateur, ou de tout autre moyen de comparaison n'exigeant pas l'usage prolongé du courant. La force électro-motrice de cet élément est, en unités électro-magnétiques 1.457×10^8 (centimètre, gramme, seconde) ou 1.457×10^5 (mètre, gramme, seconde). Le Volt représentant 10^8 unités absolues (centimètre, gramme, seconde), l'élément de M. Latimer-Clark donnerait 1.457 Volts. Il suffira donc de comparer une pile à cet élément pour avoir sa valeur en Volts.

Cette comparaison peut avoir lieu par diverses méthodes; la plus pratique est celle qui consiste à charger successivement un condensateur donné avec les deux éléments à comparer. Les forces électro-motrices sont en raison directe des charges communiquées au condensateur.

Il y a encore une unité de résistance assez employée, bien que ne faisant pas partie d'un système coordonné comme celui des unités de l'Association Britannique, c'est l'unité Siemens qui représente la résistance d'une colonne de mercure de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade. Comme l'Ohm serait la résistance d'une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de 1.0486 mètre de longueur à zéro, une unité Ohm vaut 1.0486 unité Siemens et réciproquement l'unité Siemens vaut 0,7536 Ohm.

Nous sommes obligés de nous borner à ces extraits élémentaires de l'intéressant travail de M. Ternant.

COMPTÈS RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

JUILLET 1881.

Rapport de M. E. Collignon sur un ouvrage de M. Picard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, intitulé **Alimentation du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est**. On trouvera une note sur ce sujet dans les comptes rendus de février 1881, page 260.

Rapport de M. Bunel sur les **Modèles destinés à faciliter l'étude de la coupe des pierres**, de M. Monduit.
Ces modèles en plâtre stéariné sont en morceaux exécutés par un procédé de surmoulage spécial, et qui peuvent s'assembler et se séparer pour qu'on puisse se rendre un compte exact des claveaux, voussoirs, sommiers, etc., et s'exercer à tailler et assembler un appareil complet de coupe de pierres. M. Monduit a exécuté une collection de trente modèles représentant les épures les plus intéressantes de la coupe des pierres.

Sur l'**Hydrocellulose**, par M. Aimé Girard. L'hydrocellulose est un état d'hydratation intermédiaire par lequel passent les matières cellulosiques lorsqu'on les soumet à l'action des acides, dans des conditions déterminées, avant de se saccharifier. Cette hydrocellulose possède toutes les propriétés de la cellulose normale, entre autres celle de se nitrer et se transformer en pyroxyles, dans lesquels subsiste la propriété d'être friable, qui caractérise l'hydrocellulose elle-même. Ces pyroxyles friables sont de deux natures suivant leur mode de préparation : obtenus avec des acides froids et concentrés, ils sont explosifs; avec des acides chauds et concentrés, ils sont solubles dans l'éther alcoolisé et propres à la production de collodions photographiques qui ont, au point de vue de la transparence des clichés, des qualités particulières. La note indique la succession des opérations à employer pour préparer régulièrement et industriellement l'hydrocellulose et le pyroxyle photographique friable.

De la production du son par l'énergie radiante, par

M. A. Graham-Bell. C'est la traduction d'un mémoire lu à l'Académie nationale des Arts et des Sciences, le 21 avril 1881.

Le gaz et l'électricité considérés comme agents calorifiques, par M. C.-W. Siemens.

C'est la traduction d'une conférence faite à la Société des conférences scientifiques de Glasgow.

Le but de l'auteur est, comme il le dit en terminant, de faire la guerre à la fumée des cheminées qui loin d'être, dans aucun cas, une nécessité inexpugnable, ne peut être regardée que comme un restant d'un ancien état industriel et social; les progrès réalisant à notre satisfaction certaines fins nous ont fait négliger les conditions sanitaires et économiques les plus indispensables. M. Siemens traite des producteurs de gaz pour le chauffage; il appuie la production de deux gaz : l'un pour l'éclairage et l'autre pour le chauffage, chacun ayant la composition convenable pour le but qu'il est appelé à remplir, et il termine par la description du four électrique permettant de fondre dans un creuset 4 kilogrammes d'acier en quinze minutes[1].

Éclairage électrique, système Brush.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

JUILLET 1881.

Note sur l'**insuffisance des réservoirs** pour atténuer le danger des inondations, par M. Gros, inspecteur général des ponts et chaussées. L'auteur conclut que le système des réservoirs, dont l'emploi pour prévenir les crues dangereuses des grandes rivières et abaisser la hauteur des inondations paraît très rationnel et très simple au premier abord, présente au contraire de grandes difficultés et beaucoup d'incertitudes lorsqu'on veut l'appliquer à des bassins tels que ceux de la Garonne, du Rhône ou de la Loire.

Que dans certaines circonstances l'établissement d'une série de ces réservoirs pourrait être plus nuisible qu'utile.

Qu'enfin, tout bien considéré, on ne peut par ce moyen ni prévenir des

1. Voir Comptes rendus d'octobre 1880, page 448.

désastres semblables à ceux qui ont été causés jusqu'à ce jour par les grandes inondations, ni les atténuer dans une mesure réellement utile.

Note sur le **Canal du Verdon**, par M. DE TOURNADRE, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Cette importante notice commence par l'historique des divers projets de canaux de Provence, dont le premier est celui d'Adam de Craponne qui utilisa, dès 1554, les eaux de la Durance pour l'irrigation au moyen d'un canal qui prit son nom et qui existe toujours.

Les autres projets furent repris par Peiresc, en 1645; puis par Saurin et Vauban, en 1724; et enfin, de 1820 à 1830, par divers ingénieurs, mais sans résultat. En 1836, on fit le projet du canal de Marseille, qui fut exécuté par M. de Montricher, et celui du canal d'Aix, dont le projet fut transformé en celui du canal de Verdon. Ce dernier fut concédé en 1863. La note décrit le tracé qui comporte des travaux d'art considérables, puisque dans les gorges du Verdon il y a sur 7 kilomètres cinquante-cinq souterrains, et plus loin, à Pierrefiche, un souterrain de 3 kilomètres, à Ginnaversis, un de 5,136, et, à Maurras, un de 4,136 mètres. Le développement total est de 82,706 mètres. Il y a, en outre, seize branches de dérivation formant une longueur collective de 162 kilomètres. La pente moyenne est de $0^m,21$ par kilomètre. La cuvette a $8^m,40$ en gueule, $3^m,40$ au plafond, $1^m,90$ de profondeur, et des talus à 1.33 de base pour 1 de hauteur. En souterrain, la section est un rectangle de 2 mètres sur 2 mètres surmonté d'un segment de cercle de $0^m,50$ de flèche; le tirant d'eau est porté à 2 mètres pour que le débit de 6 mètres cubes par seconde puisse être produit.

Il y a trois ponts aqueducs : l'un de 88 mètres, l'autre de 32 et le troisième de 143 mètres; la plus grande hauteur de ce dernier est de $21^m,50$ au-dessus du sol.

La dépense totale a été de 14,650,000 francs, sans compter les dépenses faites en dehors des travaux proprement dits par les différentes Compagnies qui se sont succédées dans la direction de l'entreprise et qui atteignent presque la moitié du montant des travaux exécutés.

Résultats comparatifs de l'exploitation des chemins de fer français d'intérêt local pour 1879 et 1880.

COMPTES RENDUS MENSUELS DES RÉUNIONS DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE, 2 JUILLET 1881.

Communication de M. RIEMBAULT, sur un **Costume à grisou**. — Le grisou cause des brûlures superficielles, mais dont la surface peut être considérable. Si ces brûlures ont lieu intérieurement par la respiration, elles sont presque toujours mortelles, et c'est là le principal danger pour les personnes exposées aux explosions de grisou.

M. Riembault propose un masque en toile métallique fixée sur une armature en fer à laquelle vient se joindre l'étoffe du vêtement qui enveloppe toute la personne; on y ajoute un gilet en caoutchouc contenant 40 litres d'oxygène, et communiquant par un tube en caoutchouc avec un robinet fixé au masque; cette quantité d'oxygène permettra de rester 25 minutes dans un milieu irrespirable. Les manches sont garnies de caoutchouc serrant les poignets.

Communication de M. PERILLON, sur le **Dosage du phosphore**. — La méthode est fondée : 1° sur la propriété que possède le zinc de réduire l'acide molybdique, dissout dans certaines conditions, à l'état de sel de sesquioxyde dont la dissolution est fortement colorée en brun; 2° sur la propriété que possède le permanganate de potasse de ramener ce sesquioxyde à l'état d'acide molybdique, la liqueur se décolore progressivement et une dernière goutte de permanganate en excès, colorant en rose la liqueur, indique la fin de l'opération. On fait d'abord agir la liqueur molybdique sur du phosphate de soude pur et on opère par comparaison.

DISTRICT DU CENTRE.

RÉUNION DE MONTLUÇON, 6 MARS 1881.

Communication de M. OBÉ, sur les **Explosions de chaudières à vapeur**. — L'auteur se propose d'appeler l'attention sur une cause d'explosions due à ce que l'eau de la chaudière ne contient ni air, ni bulles de vapeur, en un mot n'a pas de surfaces libres à l'intérieur de sa masse.

Une expérience de laboratoire faite par M. Donny indique que de l'eau bouillie et privée d'air, renfermée dans un tube fermé à la lampe, est projetée avec violence, si on chauffe le tube à 130 degrés dans un bain d'huile.

M. Obé cite deux faits qui lui paraissent prouver qu'il y a dans le chauffage d'une eau privée de gaz, un danger très sérieux d'explosion, l'un a eu lieu aux mines d'Hardinghem (Pas-de-Calais), l'autre aux mines de Saint-Laurent (Saône-et-Loire). Il n'y a pas eu d'accidents, mais à la suite d'arrêts prolongés, la pression malgré un feu très actif ne pouvait remonter et on constata à un moment donné une sorte de détonation intérieure avec projection brusque d'eau et de vapeur dans la machine et par les soupapes.

Deux explosions suivies d'effets désastreux paraissent se rattacher au même ordre de causes, l'une à Roanne, l'autre à Cusset. On a constaté dans les deux que l'eau ne manquait pas.

Communication de M. Durand, sur les **Réchauffeurs des chaudières à vapeur.** — M. Lévy a communiqué à la Société industrielle de Mulhouse, les résultats fournis par quatre réchauffeurs ajoutés à une chaudière à trois bouilleurs. On a trouvé une économie moyenne de 10 pour 100 depuis 1867; en 12 années l'économie, en tenant compte des intérêts capitalisés, se montait à 19,521 francs, en comptant la houille de Ronchamp au prix moyen de 26 francs la tonne. La dépense d'installation étant de 4,100 francs, les intérêts composés, pendant 12 ans, seraient de 7,375 francs, différence ou bénéfice 12,146 francs. Il y aurait avantage à remplacer le fer employé à la construction des réchauffeurs par la fonte qui durerait notablement plus.

Communication de M. Baure, sur le **Téléthermomètre** de M. Salleron.

Cet appareil permet de déterminer à distance la température d'un four, d'une salle, d'une galerie, etc. Il se compose de deux parties :

1° Un réservoir, contenant le liquide dilatable est placé près du point dont on veut mesurer la température; il est relié par un tube capillaire métallique avec un tube en verre semblable à celui d'un thermomètre;

2° Un second tube en verre placé à côté du premier, est également prolongé par un tube métallique capillaire qui longe le précédent, et est fermé hermétiquement à son extrémité au lieu d'être terminé par un réservoir.

Ce deuxième instrument mesure la dilatation qui se produit dans le second tube métallique, c'est-à-dire dans l'espace intermédiaire, tandis que le premier indique la dilatation qui a lieu dans cet espace et de plus celle du réservoir. La température vraie du réservoir est donc la différence des indications fournies par les deux instruments.

On emploie, comme liquide thermométrique, suivant les températures, l'alcool, la glycérine, la térébenthine, etc.

Note de M. DURAND, sur les **Dépôts** du bassin houiller de Doyet.

INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS

Séance du 10 mai 1881.

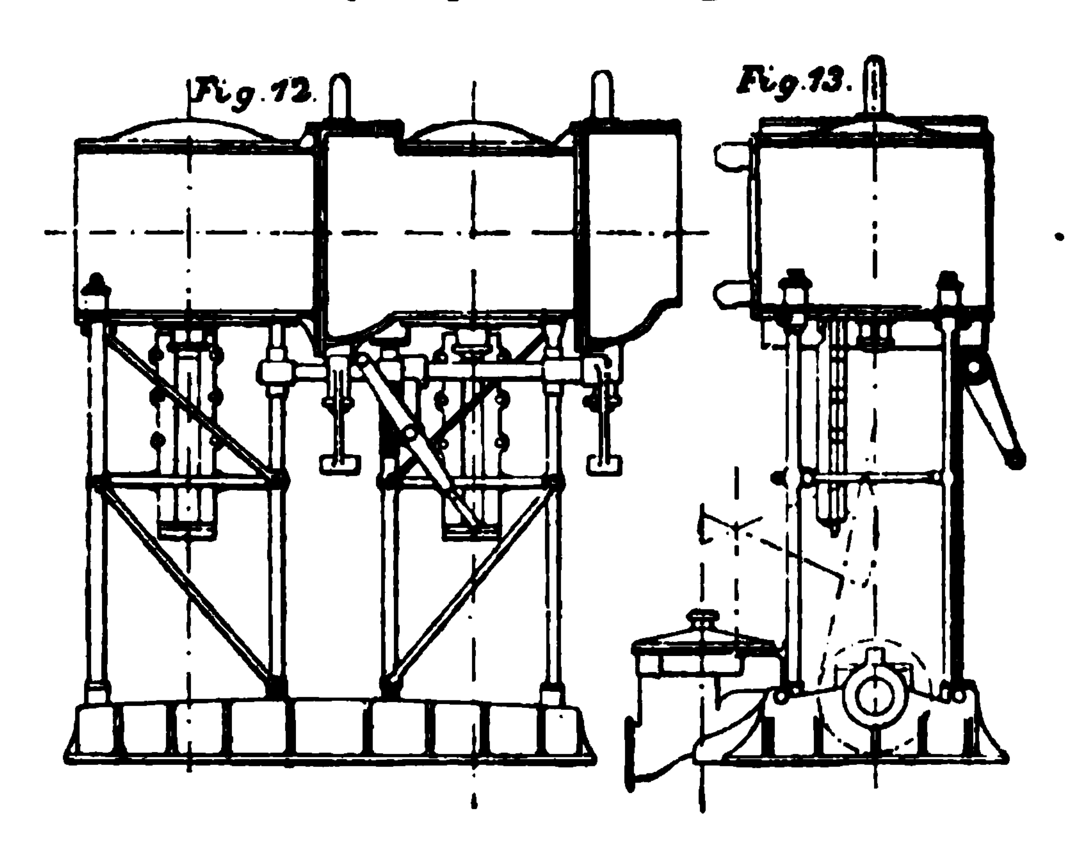
Communication de M. JOHN ISAAC THORNYCROFT, sur les **Bateaux-torpilles et embarcations à vapeur à très grande vitesse.** — L'auteur fait observer que le déplacement total d'un navire correspond à trois facteurs : 1° la coque; 2° l'appareil moteur et le propulseur; 3° la charge utile. Dans ses recherches sur les moyens de combiner une grande production de puissance avec une réduction de poids suffisante, l'auteur a surtout considéré la seconde partie, l'appareil moteur. Il a eu recours aux éléments suivants : combustion très active, surface de chauffe très divisée, pression de vapeur élevée, grande vitesse de fonctionnement; il a pris pour point de départ la machine locomotive qui réalise au plus haut degré la légèreté et la concentration de la puissance.

Pour obtenir le tirage nécessaire, M. Thornycroft a employé un ventilateur refoulant de l'air dans une chambre de chauffe close, disposition qui a en outre l'avantage de maintenir dans cette chambre une température modérée, et qui a été appliquée pour la première fois au yacht « Gitana, » construit par l'auteur, en 1876, pour la baronne de Rothschild pour naviguer sur le lac de Genève; le succès a été complet. L'air est refoulé sous une pression de 75 à 150 millimètres d'eau, pression dont la plus grande partie est destinée à vaincre la résistance au passage des gaz dans les tubes de la chaudière.

L'auteur entre dans quelques détails sur la forme des coques et la distribution des poids sur la longueur dans le cas des bateaux torpilles. Au sujet de la disposition du propulseur, des expériences récentes et personnelles permettent de conclure que l'effet utile est égal à 0,70 lorsque l'hélice est entièrement immergée et qu'il se réduit à 0,50 si la partie supérieure du propulseur émerge de la surface. La meilleure position de l'hélice pour obtenir de grandes vitesses est derrière le gouvernail; mais pour que le bateau gouverne bien, on est généralement conduit à la placer en avant de celui-ci.

Le yacht « Gitanas » a 26^{m},23 de longueur avec 3^{m},20 de largeur à la coque et 4 mètres au pont. Le tirant d'eau est de 0^{m},33 à l'avant et de 1^{m},22 à l'arrière; le déplacement est de 29 tonneaux. Les machines du type Compound à condensation par injection ont trois cylindres; le cylindre à haute pression a 0^{m},34 de diamètre et les cylindres à basse pression 0^{m},38, la course commune étant de 0^{m},405. La pompe à air a 0^{m},58 de diamètre et seulement 75 millimètres de course. Le ventilateur a 1^{m},060 de diamètre, tourne à raison de 900 tours par minute, et est actionné directement par un cylindre à vapeur de 0^{m},125 de diamètre. La chaudière est du type de locomotive. La charpente de la machine est composée de légères colonnes en acier qui relient les cylindres à la plaque de fondation avec des pièces obliques pour les contreventer et des liaisons avec la coque pour résister aux efforts transversaux. Les pistons, ainsi que leurs tiges et les bielles motrices sont en acier, les tiges sont creuses. Les pièces animées d'un mouvement de rotation sont équilibrées par des contrepoids en fonte fixés aux coudes de l'arbre moteur par des boulons en acier.

M. Thornycroft décrit ensuite un bateau torpille de première classe de 26^{m},50 de longueur et 3^{m},20 de largeur. Les machines du type Compound à réservoir intermédiaire ont un cylindre de 0^{m},32 et un de 0^{m},52 de diamètre, course de 0^{m},305. Le condenseur est à surface et l'eau de circulation est refoulée par une pompe centrifuge. Les tiroirs sont équilibrés au moyen de plaques placées au-dessus et ayant des évidements correspondant aux lumières de la table, système Wilson, de Patricroft. Les pistons sont garnis de quatre cercles en métal Perkins. Les pompes alimentaires sont mues par des manivelles calées aux extrémités d'un arbre qui porte une roue dentée en bronze phosphoreux engrénant avec une vis sans fin



appartenant à l'arbre moteur. Il y a une pompe de cale et une pompe de compression d'air pour charger les torpilles mues par un cylindre à vapeur indépendant. L'hélice à trois ailes est en avant du gouvernail, elle a 1^{m},37 de diamètre et 1^{m},83 de pas. La chaudière du type de locomotive fonc-

tionne à 8 atmosphères; on a ménagé une ouverture sur le pont pour faciliter l'évacuation de la vapeur dans le cas de la rupture d'un tube de chaudière.

La disposition générale de ces machines est figurée dans le dessin ci-dessus.

On a fait à Portsmouth des expériences pour constater la production de vapeur de ces chaudières. Le tableau ci-dessous résume ces résultats.

Essais des chaudières du torpilleur de première classe, n° 3.

DÉSIGNATION.				
Pression de l'air dans la chambre de chauffe	50 m/m	75	100	150
Pression de l'air dans le cendrier	37	57	81	131
Pression de l'air dans le foyer	35	47	75	108
Température de l'eau d'alimentation	12°	14	12	13
Température à la cheminée	570	650	690	780
Pression effective de la vapeur	8k.20	8.20	8.10	8.10
Charbon brûlé par heure	420k	535	667	822
Charbon brûlé par heure et par mètre carré de grille	245	310	390	480
Eau vaporisée par heure	2.960	3.520	4.220	4.910
Eau vaporisée par kilogramme de charbon à 30°	7.06	6.6	6.33	5.97
Eau vaporisée par kilogramme, calculée à 100°	7.61	7.08	6.81	6.41
Eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe	54	64.5	93	128
(Le combustible employé était du Nixon à 9 pour cent de cendres).				
Durée de l'essai	2h 0m	2h 7m	1h 39m	1h 27m

On voit l'influence de la pression de l'air sur la combustion et la vaporisation, en même temps que sur la température des gaz au sortir des tubes. Le relevé des pressions de l'air dans les diverses parties, montre que la résistance des tubes absorbe les sept dixièmes du tirage, et le combustible et les barreaux de grille un dixième seulement.

Les torpilleurs de seconde classe ont 18m,30 de longueur et 2m,28 de large; le tirant d'eau est de 0m,32 à l'avant et de 1.015 à l'arrière; le déplacement est de 10.6 tonneaux. Les machines Compound avec condenseur à surface, indiquent 112 chevaux. Les cylindres ont 0m,175 et 0m,278 de diamètre et 0m,200 de course; la pompe à air a 0m,175 de diamètre et 50 millimètres de course. Les pompes alimentaires sont commandées de la même manière que dans les torpilleurs de première classe. La circulation

de l'eau est effectuée par le mouvement même du bateau; et il y a un éjecteur pour extraire l'air de la partie du condenseur qui est au-dessus du niveau de l'eau, ce qui donne assez de circulation pour qu'on puisse maintenir un vide suffisant lorsque le bateau est sans mouvement. Il y a, comme dans le type précédent, une petite machine indépendante pour mouvoir le ventilateur et deux pompes.

Ces bateaux sont faits pour être embarqués sur des navires et être mis à l'eau complets et prêts à fonctionner. Il faut pour cela que la coque offre une résistance considérable.

Le mémoire se termine par des tableaux donnant les poids comparatifs de coques de navires de mer et des bateaux-torpilles et yachts décrits, les puissances et poids comparatifs de navires de mer et de locomotives, et les déplacements et résultats relatifs de navires à vapeur.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

8me LIVRAISON DE 1881.

Théorie des turbines, par le professeur C. Fink, de Berlin.

Des appareils de détente variable des machines à vapeur, par M. Proell, de Dresde.

Machine Woolf à rotation pour élévation d'eau, système Kley, par Th Lempe, ingénieur à Sterkrade.

Pont sur la Mulda, à Jessnitz, par M. W. Weber, ingénieur à Rosslau.

Dépression de la surface dans les puits, par M. Oscar Smreker, de Prague (*fin*).

Indicateur de niveau à flotteur intérieur, patente Reinmann.

Construction des grues roulantes.

L'industrie minérale de la Silésie et l'Exposition de Breslau (*suite*).

L'industrie chimique à l'Exposition de Francfort.

Tondeuse mécanique de Knab.

Chapeau de cheminée de Bartlett.

Compteur à gaz de Paillard.

Compteur à gaz de Emmel.

Mesure des hautes températures.

Chauffage à l'air chaud pour voitures de chemins de fer, par Kienast.

Ventilation des voitures de chemins de fer, par Marzetti.

Chauffage et ventilation de l'habitation des gardiens du jardin botanique de Copenhague.

Appareils de ventilation à circulation d'eau.

Ventilation des voitures de chemins de fer de Bauner.

Fonte malléable.

Acier coulé comprimé.

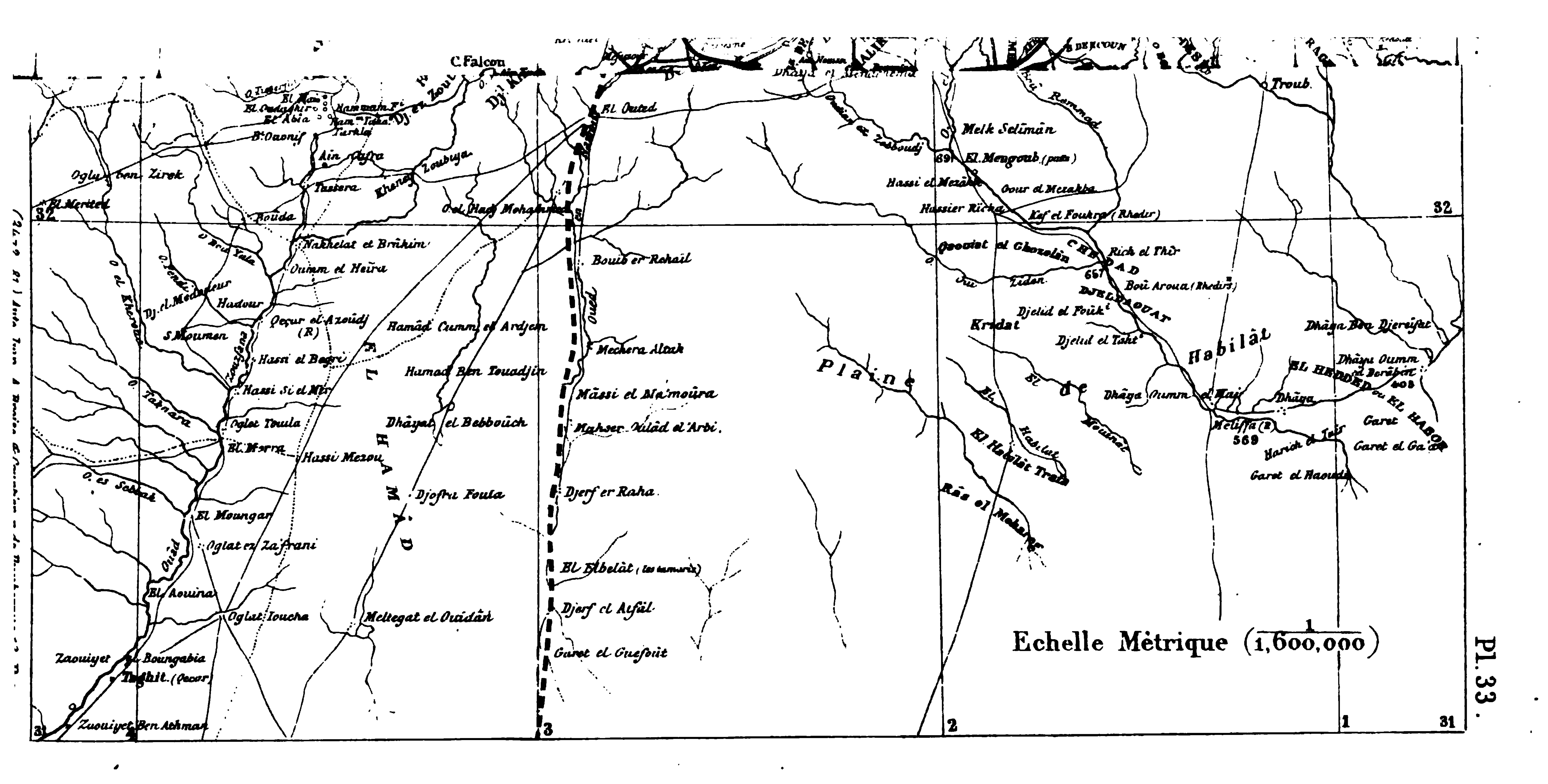
Résistance de l'acier.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. MALLET.

PARIS. — IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils

Pl. 33.


C. Falcon
El Outed
Troub
Melk Selimân
El Mengoub (puits)
Hassi el Mezâbi
Oour el Mezakba
Hassier Richa
Kef el Foukra (Rhadir)
Rich el Thîr
Boû Aroua (Rhedir)
Djelid el Fouk
Djelid el Taht
Kradat
Habilât
Dhâya Ben Djereifat
Dhâya Oumm
Dhâya
Dhâya Oumm el Maï
Melilfa
569
Garet
Garet el Haouda
Plaine
El Habilât Trala
Râs el Maharez
Echelle Mètrique (1/1,600,000)
Ogla ben Zirok
El Meritet
B. Oaonif
Ain Asfra
Tasfera
Zoubiya
O. el Hadj Mohammed
Bouda
Nakhelat el Brâhim
Oumm el Heira
Hadour
S. Moumen
Qeçur el Azoûdj (R)
Hassi el Begri
Hassi Si el Mir
Oglat Toula
El Merra
Hassi Mezou
O. el Kheroua
O. Tabnara
O. es Sebbak
El Moungar
Oglat ez Zafrani
El Aouina
Oglat Toucha
Zaouiyet
Boungabia
Taghit (Qecor)
Zaouiyet Ben Achman
Hamâd Oumm el Ardjem
Hamad Ben Touadjin
Dhâyat el Bebbouch
Djofra Foula
EL HAMÂD
Meltegat el Ouidân
Bouib er Rehail
Oued
Mechera Altah
Mâssi el Ma'moûra
Mahser Oulâd el Arbi
Djerf er Raha
El Ebelât (les tamarix)
Djerf el Atfûl
Garet el Guefouit
32
31
3
2
1

Kil. 380 . Altitude 1307

Géryville

229

P(

an

T

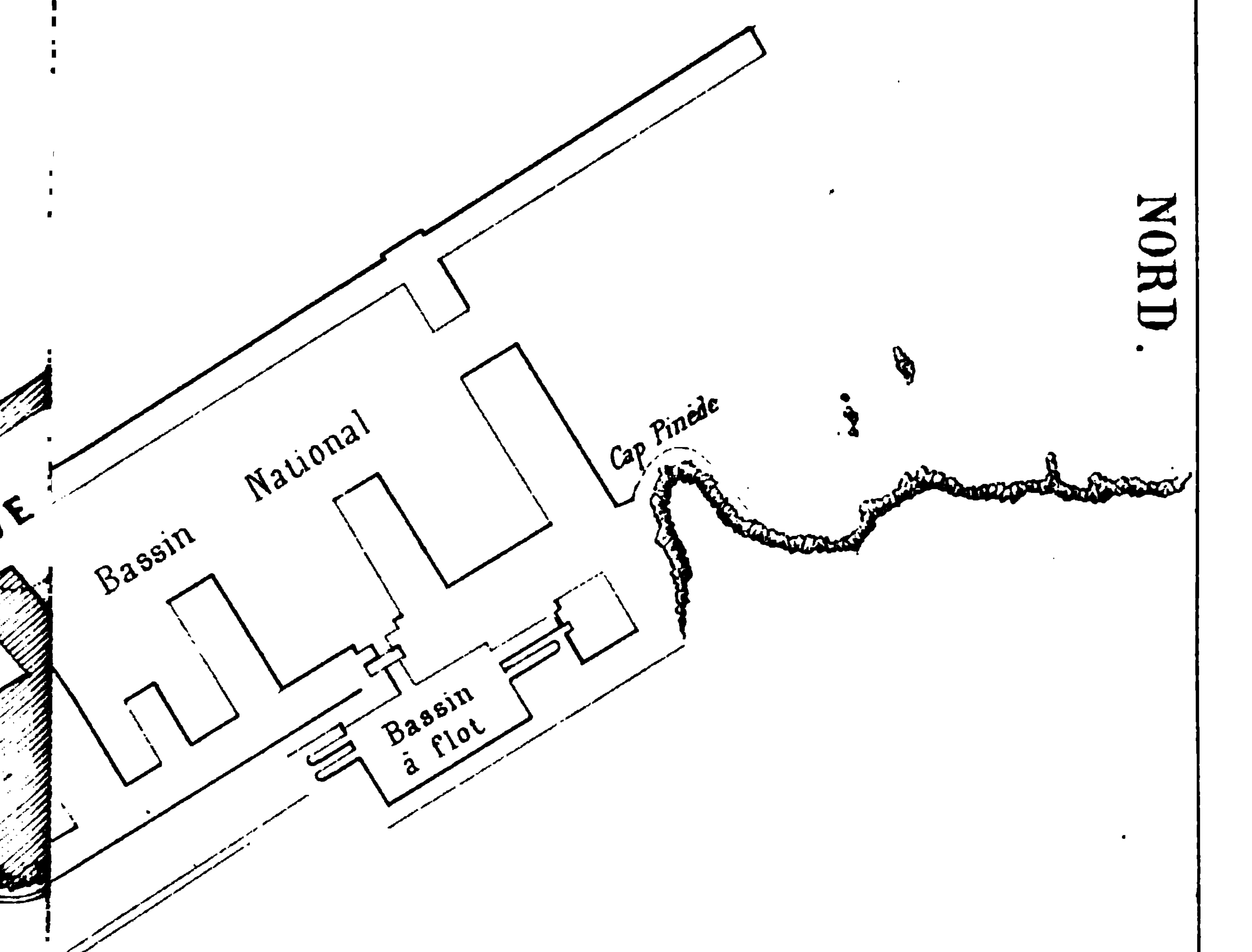
PORT DE MARSEILLE.

BASSINS DU NORD,

ET

T PROJET DE BASSINS AU SUD.

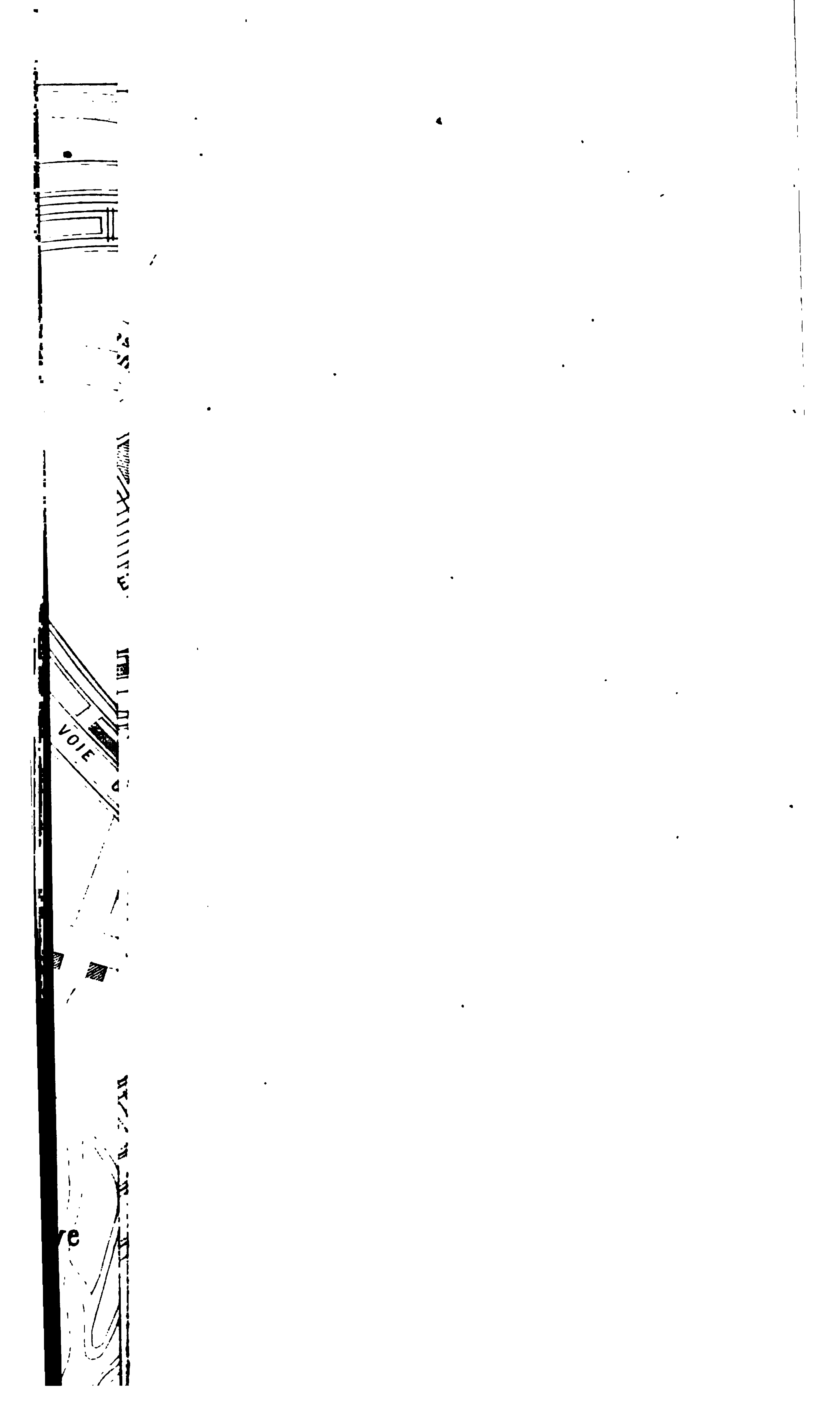
Echelle de $\frac{1}{20000}$.



Légende.

Projet du gouvernement - - - - - - - - - - - -

Projet de M. Deshorties......


VOIE

MOLE N°3.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

OCTOBRE 1881

N° 10

Pendant le mois d'octobre, les questions suivantes ont été traitées :

1° Décès de MM. *Vaessen et Étienne* (séance du 7 octobre, pages 315).

2° Lettre de M. Eiffel, relative à la communication de M. Bodin, sur *le pont du Douro et le viaduc de Garabit* (séance du 7 octobre, page 316).

3° *L'oxygène, l'hydrogène, l'azote, l'air et l'eau*, par M. Piarron de Mondesir (séance du 7 octobre, pages 283 et 317).

4° *Industries textiles* (situation générale des), par M. Édouard Simon (séance du 7 octobre, pages 299 et 317).

5° *Voitures à vapeur*, système Amédée Bollée, par M. Lecordier (séance du 7 octobre, page 317).

6° *Machines magnéto et dynamo-électriques*, par M. Parent (3e séance-visite à l'Exposition d'électricité, le 7 octobre, page 328).

7° *Machines à gaz*, par MM. Arson et Ravel (3e séance-visite à l'Exposition d'électricité, le 7 octobre, page 336).

8° *Unités de mesures des grandeurs électriques*, par M. Monnier Demetrius (4e séance-visite à l'Exposition d'électricté, le 11 octobre et séance de la Société du 21 octobre, pages 326 et 352).

9° *Méthanomètre automatique*, par M. Denis Monnier (séance du 21 octobre, page 320).

Pendant le mois d'octobre la Société a reçu :

De M. le sénateur Krantz, les fascicules 4 et 5 de la *Monographie des travaux de l'Exposition de* 1878.

Du Ministère des Travaux Publics italiens, la *Statistique des chemins de fer pour l'année* 1880.

De M. Regray, membre de la Société, un exemplaire de sa *Note sur une première série d'expériences entreprises à la Compagnie de l'Est à l'aide de son wagon dynamomètre.*

Et un exemplaire de la brochure de M. Rixens, sur son *Appareil destiné à éviter la collision des trains.*

De M. Colladon, membre de la Société, un exemplaire de sa *Note sur quelques expériences faites en* 1826, *sur les courants électriques produits par les éclairs éloignés et sur une observation de M. R. Thurry, relative au bruit des Téléphones pendant les orages, ainsi qu'un exemplaire d'une Note sur les déviations de la foudre.*

De M. Lartigue, membre de la Société, un exemplaire de sa *Conférence sur les signaux électriques.*

De M. Vauthier, membre de la Société, un exemplaire de son travail sur le *Port de Rouen.*

De M. Weil, membre de la Société, une brochure sur le *Dosage volumétrique du fer, du cuivre, de l'antimoine et du glucose et du sucre de canne.*

Les Membres nouvellement admis sont :

MM.	ANDRADE,	présenté par MM.	Brüll, Guérin de Litteau et Marché.
	BOUQUIÉ,	—	Carimantrand, Mallet et Spée.
	GIBAULT,	—	Carimantrand, Gibault et Marché.
	GOTENDORF,	—	Gottschalk, Lartigue et Mallet.
	HAILLOT,	—	Boire, Legat et Peignot.
	MONNIER (Denis),	—	Carimantrand, Franck et Marché.
	PHILIPSON,	—	Gottschalk, Pereire et Mallet.
	PRANDIÈRES (de),	—	Armengaud (Charles), Artus père et Artus fils.
	VASCONCELLOS,	—	Guitton, Monjean et Ratuld.

MÉMOIRE

SUR

L'OXYGÈNE, L'HYDROGÈNE, L'AZOTE L'AIR ET L'EAU

Par M. **PIARRON DE MONDESIR.**

Depuis plus d'un siècle, c'est-à-dire depuis la première analyse de l'air faite par Lavoisier, notre atmosphère est considérée comme un simple mélange d'oxygène et d'azote, dans la proportion approximative de 21 volumes d'oxygène pour 79 volumes d'azote.

Si l'air était un simple mélange, dans la stricte acception du mot, de deux gaz de densités différentes, l'équilibre serait nécessairement instable et ne se maintiendrait que par une agitation constante de l'atmosphère. Dans les temps d'accalmie complète, l'oxygène tendrait à occuper la partie inférieure et l'azote la partie supérieure. On verrait alors les êtres animés, qui se meuvent à la surface de la terre, brûlés par l'oxygène, tandis que les oiseaux de haut vol tomberaient asphyxiés par l'azote. Heureusement qu'un tel phénomène ne s'est jamais produit et ne se produira jamais.

L'air n'est donc point un simple mélange d'oxygène et d'azote; c'est au contraire une association intime de ces deux gaz, puisqu'on la retrouve toujours dans la même proportion à toutes les altitudes. Sa constitution présente l'équilibre le plus stable, puisqu'elle résiste aux plus grandes tempêtes. Son élasticité parfaite nous indique que les atomes d'oxygène et d'azote ne doivent point y être distribués d'une manière quelconque, et le simple raisonnement nous dit que la proportion expérimentale de 21 et de 79 n'est qu'approximative, et doit être remplacée par la proportion harmonique de 20 et de 80.

Pourquoi la loi *des rapports simples des combinaisons gazeuses* ne s'appliquerait-elle pas à l'air ?

Pourquoi l'auteur lui-même de cette loi a-t-il hésité à faire cette application ?

Parce que l'analyse chimique oppose ici son *veto*. Ce n'est pas 20 d'oxygène et 80 d'azote, dit-elle, c'est bien 21 d'oxygène et 79 d'azote.

Cependant l'analyse de l'air en poids entreprise par MM. Dumas et Boussingault a donné 23 grammes d'oxygène et 77 grammes d'azote pour un kil. d'air pur, et a ramené ainsi la proportion en volume à 20,80 pour l'oxygène et à 79,20 pour l'azote.

C'est un petit acheminement vers la proportion harmonique, mais ceci n'a point ébranlé les idées actuelles sur la constitution de notre atmosphère.

Si Gay-Lussac eût manifesté moins de confiance dans les analyses de l'air, analyses qu'il a lui-même contrôlées dans l'*Eudiomètre* qui porte son nom, il n'eût pas hésité à proclamer le premier la constitution harmonique de l'atmosphère, et nul doute qu'il n'eût entraîné à sa suite tout le monde savant.

Il a hésité par respect pour l'expérience.

Chose remarquable ! Une hésitation tout à fait semblable s'empara de l'esprit de Newton, en 1666, quand il découvrit la grande loi de la gravitation universelle. Il voulut tout d'abord l'appliquer au cas particulier de l'attraction que la terre exerce sur la lune ; et ses premiers calculs, basés sur des mesures inexactes de la terre, lui donnèrent un écart d'environ un sixième.

Il se prit alors à douter de l'exactitude de sa découverte, et la conserva en portefeuille pendant seize ans.

Ce ne fut qu'en 1682, alors que parut une nouvelle mesure du méridien terrestre faite par l'astronome français, Picard, que Newton, reprenant ses calculs de 1666, vit l'accord se rétablir entre la théorie et l'observation.

L'histoire raconte qu'en voyant cette concordance se dessiner, au fur et à mesure de l'avancement du calcul, Isaac Newton éprouva un tel saisissement qu'il ne pût continuer, et qu'il dût prier un ami de parachever l'opération à sa place.

Ceci nous prouve, Messieurs, que le doute, en matière de découverte scientifique, peut parfois s'emparer des plus grands esprits.

Il nous faut respecter l'hésitation du grand astronome anglais, et au même titre, celle du grand physicien francais ; mais il nous faut admirer la foi scientifique robuste du grand astronome italien, quand il s'écrie, du fond des cachots de l'Inquisition : *Et cependant c'est la terre qui tourne*. Galilée n'hésitait pas.

Je voudrais pouvoir rendre ici, aux successeurs de Gay-Lussac, un service analogue à celui que Picard rendit à Newton. Mais Picard apportait un fait d'observation, un fait précis, tandis que moi, je n'apporte qu'une idée théorique, qu'une hypothèse.

Ce n'est pas toutefois de l'idée harmonique dont je veux parler, elle est ici dans l'esprit de tout le monde, l'idée que j'apporte, et dont je réclame la priorité et la responsabilité, c'est que *l'air doit tourner.*

Il doit tourner, parce qu'il contient de l'oxygène qui est *le gaz tournant par excellence*, comme je l'ai dit dans ma précédente communication.

Il doit tourner, parce que les atomes d'oxygène doivent communiquer leur mouvement de rotation aux atomes d'azote.

Or, comment obtenir la rotation harmonique de la masse aérienne avec 21 atomes d'oxygène communiquant le mouvement à 79 atomes d'azote, ou bien, si l'on prend les résultats de MM. Dumas et Boussingault, avec 208 atomes d'oxygène et 792 atomes d'azote ?

La chose est tout simplement impossible.

Le problème devient au contraire d'une grande simplicité, quand on prend un atome d'oxygène et quatre atomes d'azote tangents à l'atome d'oxygène aux deux extrémités de deux diamètres perpendiculaires entre eux, les cinq atomes formant ainsi une croix grecque (fig. 1).

Une molécule aérienne.

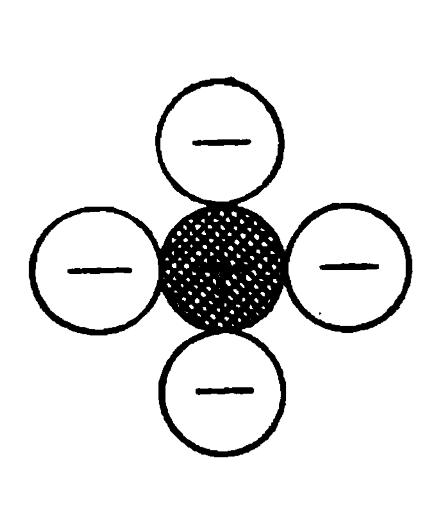


Fig. 1.

Deux molécules aériennes accrochées

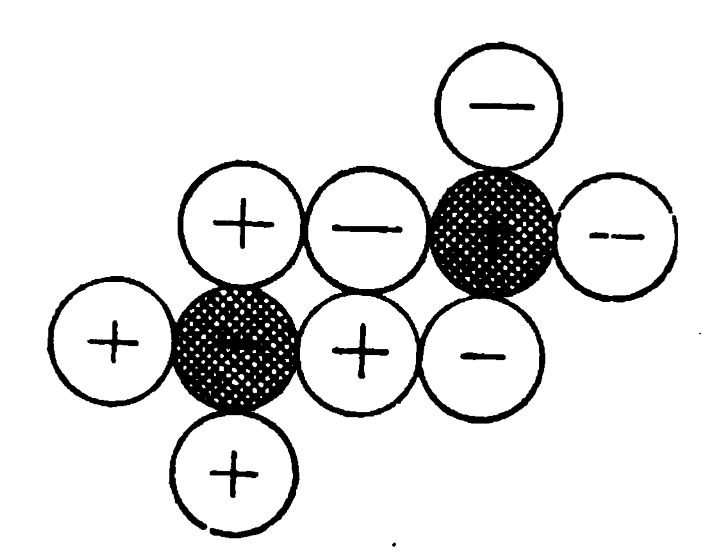


Fig. 2.

Ce système de 5 atomes constitue ce qu'on doit nommer *la molécule aérienne.* Si l'atome central, qui est l'oxygène, tourne dans un sens ou dans l'autre, les 4 atomes d'azote tourneront nécessairement en sens contraire et harmoniquement.

C'est ainsi, je le répète, qu'on parvient à expliquer pourquoi l'oxygène qui est un agent trop actif pour la respiration des êtres animés, quand il est libre, devient respirable, après avoir cédé à l'azote près de

quatre cinquièmes de son pouvoir rotatif, et pourquoi l'azote qui asphyxie, quand il est libre, devient respirable, après avoir reçu le mouvement de rotation, par son contact avec l'oxygène.

Prenons maintenant deux molécules aériennes, et arrimons-les ensemble, ou plutôt, pour me servir de l'expression de notre grand philosophe Descarte, *accrochons*-les] ensemble dans le plan horizontal, et nous aurons, dans la figure 2, 2 atomes d'oxygène et 8 atomes d'azote tournant harmoniquement.

Continuons cette opération indéfiniment, et nous obtiendrons une tranche horizontale aérienne représentée dans la figure 3, et dont tous les atomes tourneront harmoniquement.

Coupe horizontale de l'atmosphère.

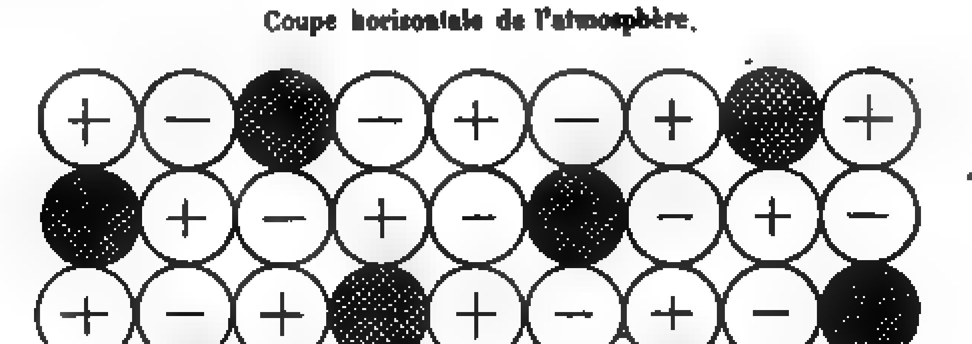


Fig. 3.

Superposons maintenant les tranches horizontales les unes sur les autres, oxygène sur oxygène, et azote sur azote, et nous obtiendrons la masse aérienne, qui compose notre atmosphère, et dont la figure 4 représente une coupe verticale.

Coupe verticale de l'atmosphère.

Fig. 4.

Tout ceci, je vous le répète, Messieurs, n'est qu'hypothétique dans l'état actuel de la science. Est-ce la vérité, est-ce l'erreur? Chacun de vous a parfaitement le droit de réserver son opinion à ce sujet.

Voici un modèle grossier d'une molécule aérienne. Ce sont cinq sphères égales disposées suivant la figure 1. La sphère centrale, peinte en rouge, figure l'atome d'oxygène, et les quatre sphères blanches, disposées dans des rainures inclinées vers le centre, représentent les quatre atomes d'azote. Il suffit, comme vous le voyez, de faire tourner la sphère rouge, dans un sens ou dans l'autre, pour obtenir immédiatement la rotation harmonique des quatre sphères blanches dans le sens opposé.

Pour ceux d'entre vous, Messieurs, qui voudront bien admettre mon hypothèse, l'air ne sera plus un simple mélange, mais bien une combinaison des plus stables, avec la formule atomique :

$$Az^4\,O \text{ (5 volumes).}$$

Dans ces conditions, le poids atomique de l'air cesse d'être une inconnue ; il se trouve déterminé par la formule très simple :

$$x = \frac{16}{5} + \frac{4}{5} \times 14 = \frac{72}{5} = 14.40.$$

On sait, en effet, que le poids atomique de l'hydrogène étant 1, ceux de l'oxygène et de l'azote sont respectivement 16 et 14.

Le poids atomique de l'air étant 14.40, il s'ensuit que les densités des trois gaz hydrogène, oxygène et azote sont respectivement :

Hydrogène. . . . . . . $\rho = \frac{1}{14.40} = \frac{5}{72} = 0.06944...$

Oxygène. . . . . $\omega = \frac{16}{14.40} = \frac{80}{72} = 1.1111...$

Azote . . . . $\varepsilon = \frac{14}{14.40} = \frac{70}{72} = 0.97222...$

Ces densités sont toutes trois supérieures aux densités expérimentales de Regnault. Les différences sont :

Pour l'hydrogène	2	dix-millièmes.
Pour l'oxygène	55	—
Pour l'azote	9	—

Pour l'hydrogène et l'azote l'écart est peu considérable. Il est relativement beaucoup plus grand pour l'oxygène, et il ne faut pas s'en étonner, puisque nous avons vu précédemment que le rapport des densités expérimentales de l'oxygène et de l'hydrogène n'était que de 15.963 au lieu de 16.

Qu'il nous soit permis de tirer, en passant, cette conclusion, au sujet des expériences de laboratoire : c'est qu'il est inutile de pousser les résultats jusqu'à la cinquième ou même jusqu'à la sixième décimale pour aboutir en définitive à un écart de près de 4 centièmes.

De la composition harmonique de l'air en volume, nous déduisons immédiatement sa composition en poids. En effet :

Le poids d'oxygène, qui entre dans 1 kil. d'air est

$$\frac{16}{5 \times 14.40} = \frac{2}{9} = 0.2222 \ldots$$

Et celui d'azote

$$\frac{14 \times 4}{5 \times 14.40} = \frac{7}{9} = 0.7777. \ldots$$

La différence entre le résultat théorique et le résultat expérimental de MM. Dumas et Boussingault est de :

78 dix-millièmes en moins pour l'oxygène,

et 78 dix-millièmes en plus pour l'azote.

Ces différences sont assez notables. Mais ceci ne doit point ébranler les partisans de la théorie harmonique. On sait que l'analyse de l'air, soit en volumes, soit en poids, présente les plus grandes difficultés, et il est permis d'espérer que le perfectionnement des méthodes permettra un jour de mettre ici d'accord la théorie et l'expérience.

Je vais maintenant aborder une question délicate et pour laquelle je me permettrai de réclamer votre bienveillante attention, c'est celle de la pesée des quatre gaz dont nous nous occupons.

Il suffit évidemment de considérer la pesée de l'un quelconque des quatre gaz, puisque les pesées des trois autres doivent s'en déduire en se basant sur les poids atomiques.

Le gaz que je choisirai sera l'hydrogène, parce que c'est celui qui occupe le plus grand volume à égalité de poids.

Regnault a trouvé pour le poids d'un mètre cube d'hydrogène, à la température 0 et sous la pression atmosphérique correspondant à 760 millimètres de mercure . . . $0^k.0896$. (Je m'arrête à la 4e décimale.)

Cette pression barométrique, de 760 millimètres de mercure, est, comme vous le savez, une moyenne déduite d'observations faites au bord de la mer. Elle a été adoptée par les physiciens pour leurs expériences sur les corps gazeux. Elle correspond très approximativement à

un piston atmosphérique de 10334 kil. par mètre carré, en adoptant le chiffre de 13.598 pour la densité du mercure, celle de l'eau étant prise pour unité.

Il est clair que le poids du mètre cube d'un gaz variera avec le piston atmosphérique qu'on aura choisi, et cela proportionnellement au poids du piston, conformément à la loi de Mariotte.

Si au moment même où Regnault pesait l'hydrogène, le baromètre ne marquait pas exactement $0^m.760$, le poids observé n'était pas évidemment $0^k.0896$; il devait être plus grand ou plus petit, suivant que la hauteur barométrique était elle-même supérieure ou inférieure à $0^m.760$. Le chiffre de $0^k.0896$ est donc probablement le résultat d'un calcul proportionnel. Mais son exctitude reste la même, soit qu'il ait été calculé, soit qu'il ait été observé directement.

Je puis à mon tour, par un calcul exact, ramener la pesée de Regnault à la pression atmosphérique,

$$\Pi = 10\,368 = 2^7.3^4 \text{ kil.},$$

laquelle est harmonique, et ne diffère de la première moyenne adoptée que de 34 kil. par mètre carré.

Pour cela il me suffira de poser, suivant la loi de Mariotte, la proportion : $0.0896 : 10\,334 :: x : 10\,368,$

d'où je tire . . . . $x = 0.0899.$

L'expérience de Regnault nous apprend ainsi :

Que le poids d'un mètre cube d'hydrogène estimé à la température 0 et sous le piston atmosphérique harmonique Π est égal à $0^k.0899$, c'est-à-dire *à 90 grammes*, en négligeant un écart d'un dix-millième.

Nous pouvons donc poser pour les 4 gaz :

Air	poids du mètre cube . . .	$\delta = 0.09 \times 14.40 =$	$1^k.296$,
Hydrogène	— . . .	$\rho\delta = \ldots\ldots\ldots\ldots$	$0^k.090$,
Oxygène .	— . . .	$\omega\delta = 0.09 \times 16 =$	$1^k.440$,
Azote. . .	— . . .	$\varepsilon\delta = 0.09 \times 14 =$	$1^k.260$.

La pesée de l'hydrogène devenant harmonique sous le piston atmosphérique harmonique Π, les pesées de l'air et de l'oxygène le sont également, par la raison que les poids atomiques de ces deux gaz sont eux-mêmes harmoniques. Quant à la pesée de l'azote, elle est anharmonique et contient le facteur 7 qui entre lui-même dans le poids atomique de ce gaz.

Vous remarquerez, Messieurs, que les résultats harmoniques des trois premiers gaz sont reliés entre eux par l'équation simple et remarquable :

$$10\ \omega\ \rho\ \delta = 1.$$

Vous remarquerez également que la hauteur H qu'aurait l'atmosphère terrestre, si la pesée de l'air était constante à toutes les altitudes, serait :

$$H = \frac{10\,368}{1.296} = 8\,000 \text{ mètres.}$$

Je vais maintenant, si vous voulez bien me continuer votre bienveillante attention, aborder la question des chaleurs spécifiques des quatre gaz dont nous nous occupons en ce moment :

Reportons-nous à l'équation bien connue de la thermo-dynamique,

$$(1) \qquad c_1 - c = \frac{\alpha}{E} \times p\,V,$$

dans laquelle,

c_1 désigne la chaleur spécifique, du gaz considéré, sous pression constante,

c sa chaleur spécifique sous volume constant,

α le coefficient de dilatation des gaz,

E l'équivalent mécanique de la chaleur,

p une pression quelconque supportée par le gaz, et V le volume occupé par 1 kil. de ce gaz sous la pression p et à la température 0.

Appliquons cette équation à l'hydrogène, en donnant aux quatre quantités, qui entrent dans le second membre, les valeurs expérimentales suivantes :

$$\alpha = \frac{1}{273}\,;\ E = 425\,;\ p = 10\,334\,;\ V = \frac{1}{0.0896}\,.$$

Nous obtiendrons tout calcul fait :

$$c_1 - c = 0.994.$$

En prenant pour α la fraction $\frac{1}{267}$ de Gay-Lussac, au lieu de la fraction $\frac{1}{273}$ de Regnault, on trouvera :

$$c_1 - c = 1.015.$$

La moyenne des 2 résultats est :

$$1.0045.$$

Vous voyez, Messieurs, que le $c_1 - c$ de l'hydrogène oscille autour de l'unité, suivant qu'on choisit telle ou telle donnée expérimentale.

Je suis donc, je crois, en droit de dire, en appliquant ici l'idée harmonique, que le $c_1 - c$ de l'hydrogène est précisément égal à l'unité, et de poser par suite pour ce gaz :

$$c = \frac{1}{\gamma - 1},$$

γ étant le rapport $\frac{c_1}{c}$ des deux chaleurs spécifiques des gaz.

Je fais alors $c_1 - c = 1$ dans l'équation (1) appliquée à l'hydrogène, et cette équation se réduit à :

(2) $$E = \alpha p V.$$

Dans cette équation (2) tout est connu, et si nous introduisons dans le second membre les 3 valeurs harmoniques. $\alpha = \frac{1}{270}$, $p = 10368$ et $V = \frac{1}{0.09}$, nous obtiendrons pour E, tout calcul fait, l'harmonique fractionnaire :

$$E = \frac{1280}{3} = 426.666...$$

Vous savez, Messieurs, combien sont divergents entre eux, et les résultats déduits du calcul, et ceux obtenus directement par l'expérience, pour la valeur de E.

Celle que la théorie harmonique vient de me donner diffère peu de celle que vous employez habituellement dans vos calculs, et qui est de 425.

Vous remarquerez en outre qu'elle présente une concordance très satisfaisante avec l'une des nombreuses expériences de Joule, celle relative au frottement d'une plaque de fer dans le mercure, et dont il a déduit le chiffre de 426.20 [1].

Nous venons de voir que le c de l'hydrogène était égal à $\frac{1}{\gamma - 1}$.

Je vais maintenant entreprendre de déterminer directement cette valeur, en m'appuyant, d'une part sur les magnifiques expériences de

1. Hirn. — *Théorie mécanique de la chaleur*, page 73.

liquéfaction des gaz dues à notre savant collègue, M. Raoul Pictet, et d'autre part sur l'équation (1) de la thermo-dynamique.

La question, comme vous le voyez, est des plus intéressantes, et j'espère que voudrez bien me continuer votre bienveillante attention.

Dans un cylindre vertical, d'un mètre carré de section et fermé par en bas, je renferme un kil. de gaz oxygène à la température 0, en plaçant dessus le piston atmosphérique harmonique Π au-dessus duquel le vide sera censé exister.

Dans ces conditions le volume occupé par ce kil. d'oxygène sera :

$$\frac{1}{1.44} = 0^{mc}.69444\ldots :$$

en d'autres termes, la hauteur occupée par le gaz dans le cylindre sera : $0^{m}.69444\ldots$, puisque la base du cylindre est d'un mètre carré.

Je comprime alors l'oxygène en ayant soin de laisser se dissiper au fur et à mesure la chaleur de la compression.

Je le comprime jusqu'à ce que la hauteur qu'il occupe dans le cylindre soit réduite à un millimètre.

En ce moment la pression supportée par l'oxygène sera de $694^{at}.444$.

Je dis alors que l'oxygène sera liquéfié, ou, pour parler plus exactement, qu'il aura atteint la limite de l'état gazeux et de l'état liquide.

Et pourquoi me direz-vous ?

Parce que M. Raoul Pictet a constaté, dans son expérience de liquifaction de l'oxygène, que l'oxygène liquide avait la même densité que l'eau. L'oxygène est donc liquide quand son volume, par kilogramme, se trouve réduit à la hauteur d'un millimètre dans le cylindre de mon expérience théorique.

Je constate donc tout d'abord que l'oxygène se liquéfie à la température 0 et sous la pression. . . . . $\mu = 694^{at}.444\ldots..$

Cette conclusion suppose à la vérité que l'oxygène suivra la loi de Mariotte, pendant toute la durée de la compression, ce qui, comme vous le savez, n'est point d'accord avec les expériences de Regnault.

Permettez-moi de vous faire remarquer à ce sujet que les écarts constatés par Regnault, dans ses belles expériences sur la loi de Mariotte, écarts qui se sont produits, dans le même sens pour l'air et l'azote, et dans le sens contraire pour l'hydrogène, avaient leur raison d'être, ainsi que je crois l'avoir démontré dans mes Dialogues sur la mécanique. Ils sont la conséquence inévitable d'un mode de compres-

sion vertical. Si l'on parvenait à comprimer les gaz horizontalement, avec une pression atmosphérique nécessairement constante, les écarts de la loi de Mariotte s'évanouiraient comme par enchantement.

Cette grande loi de la nature doit être considérée comme une formule algébrique. Elle n'est pas approximative, elle est exacte. Elle doit subsister, tant que le gaz n'est point encore passé, par l'effet de la compression, de l'état gazeux à l'état liquide.

Je reviens à mon appareil théorique, ne voulant pas pousser plus loin cette digression.

Dans un second cylindre, semblable au premier, je renferme un kil. d'hydrogène dans les mêmes conditions de température et de pression.

La hauteur de la colonne gazeuse sera. . . $\frac{1}{0.09} = 11^{m}.1111$,

16 fois plus grande que celle de l'oxygène.

Je comprime, comme je l'ai fait pour l'oxygène, jusqu'à ce que la hauteur de la colonne gazeuse soit réduite à un millimètre.

En ce moment la pression en atmosphères, supportée par l'hydrogène sera 16 μ, 16 fois plus grande que celle de l'oxygène.

Je dis alors que l'hydrogène sera liquéfié à son tour ou plutôt qu'il aura atteint la limite de l'état gazeux et de l'état liquide.

Et pourquoi, me direz-vous encore ?

Parce que la densité de l'oxygène liquéfié étant égale à celle de l'eau d'après l'observation de M. Raoul Pictet, il doit en être de même de celle de l'hydrogène liquéfié. Ce sont en effet ces deux gaz, liquéfiés tous deux, qui, par leur association, constituent l'eau.

Il résulte de là que l'eau est composé en volumes, comme en poids, dans la proportion de 8 d'oxygène pour 1 d'hydrogène.

Mais il est essentiel de remarquer que si les deux gaz sont tous deux liquéfiés dans l'eau, *le gaz hydrogène est simplement à la limite de la liquéfaction, tandis que le gaz oxygène se trouve* SURCOMPRIMÉ, SANS CHANGEMENT DE VOLUME, *dans la proportion de* 16 *à* 1.

Telles sont les notions importantes qui dérivent de l'interprétation rationnelle des belles expériences de M. Raoul Pictet.

L'hydrogène de l'eau, ne dépassant pas la limite de l'état gazeux et de l'état liquide, conserve sa chaleur spécifique. . . . $c = \frac{1}{\gamma - 1}$.

Mais il n'en est pas de même de l'oxygène qui a dépassé cette limite.

Quelle est donc la chaleur spécifique de l'oxygène de l'eau ?

L'équation (1) de la thermo-dynamique va nous l'apprendre.

Appliquons cette équation à l'oxygène parvenu à la limite de l'état gazeux et de l'état liquide, en y faisant :

$$p = \mu\Pi, \text{ et } V = 0.001,$$

elle deviendra :

$$c_1 - c = \frac{\alpha}{E} \times \Pi\mu \times 0.001. \qquad (3)$$

Si dans cette équation (3) je remplace μ par 2μ, toutes les autres valeurs restant constantes dans le second membre, y compris le volume 0.001 de l'oxygène liquéfié, *devenu désormais invariable*, on voit que le $c_1 - c$ de l'oxygène liquide, et surcomprimé dans la proportion de 2 à 1, sera doublé.

Il sera 16 fois plus grand si je remplace μ par 16μ, pression de l'hydrogène liquéfié, et si, par conséquent, je surcomprime l'oxygène liquide dans la proportion de 16 à 1, son volume restant toujours constant et égal à 0.001.

Le $c_1 - c$ de l'oxygène de l'eau est donc égal à 16 fois le $c_1 - c$ de l'oxygène gazeux, c'est-à-dire égal à 1, comme celui de l'hydrogène.

Par conséquent la chaleur spécifique de l'oxygène de l'eau est, comme celle de l'hydrogène, égale à. . . . . $\frac{1}{\gamma - 1}$.

Il est clair maintenant que pour faire monter 1 kilogramme d'eau de 1 degré, c'est-à-dire pour obtenir une calorie de chaleur, il faut donner :

A l'oxygène. . . . . $\frac{8}{9} \times \frac{1}{\gamma - 1}$ calories.

Et à l'hydrogène. . . . . $\frac{1}{9} \times \frac{1}{\gamma - 1}$ id.

En tout. . . . . $\frac{1}{\gamma - 1}$ id.

Nous arrivons ainsi à démontrer que le rapport γ des deux chaleurs spécifiques des gaz est égal à 2, et que la chaleur spécifique de l'hydrogène est, comme celle de l'eau égale à *l'unité*.

Il en résulte que les chaleurs spécifiques de l'oxygène, de l'azote et de l'air sont respectivement : $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{14}$ et $\frac{1}{14.40}$.

Ces résultats qui ressortent directement de l'équation (1) de la thermo-dynamique sont du reste conformes à la loi que Dulong a formulée en ces termes :

Le produit de la chaleur spécifique par le poids atomique est un nombre constant

Il nous est permis maintenant d'ajouter qu'en ce qui concerne les quatre gaz, air, hydrogène, oxygène et azote, ce produit constant est égal à l'unité.

Permettez-moi, Messieurs, de vous dire ici que j'ai déjà démontré dans mes Dialogues sur la mécanique, et dans une communication faite à l'Académie des sciences, il y a de cela onze ans environ, que le rapport γ des deux chaleurs spécifiques des gaz devait être égal à 2. L'Académie a haussé les épaules, parce que le nombre 2 est en complet désaccord avec les expériences ; mais ceci ne m'a ni étonné, ni découragé, ni empêché de continuer mes recherches scientifiques, dans l'intérêt du progrès de la noble science de la mécanique.

Vous savez qu'il n'y a rien de plus incertain que la valeur expérimentale de ce fameux rapport γ ; elle varie depuis 1.40 jusqu'à 1.50.

Je me trouvais à l'Académie des sciences un jour que M. Jamin rendait compte d'expériences thermo-électriques qu'il avait faites, en vue de déterminer γ par une méthode nouvelle. Regnault, qui était alors en pleine possession de ses éminentes facultés, (c'était avant la dernière guerre, qui lui a enlevé un fils déjà illustre), notre grand physicien Regnault, en discutant la méthode employée par M. Jamin, dit alors, qu'en opérant d'après cette méthode, ***il se chargeait de faire ressortir pour*** γ ***des valeurs allant jusqu'à*** 1.80. Il n'osa pas toutefois pousser jusqu'à 2.

Je me permets de vous citer ici les paroles du grand expérimentateur, bien qu'elles n'aient point été reproduites dans le compte rendu, parce que je les ai parfaitement entendues de mes propres oreilles, et surtout parce qu'elles empruntent une grande autorité de la bouche qui les a prononcées.

Vous savez, Messieurs, que le rapport γ entre en exposant dans une

formule célèbre que Laplace et Poisson ont déduite d'une analyse savante.

Soit p un piston atmosphérique quelconque, et V le volume occupé par une masse gazeuse, à la température 0 et sous la pression p.

Si l'on comprime la masse gazeuse, en réduisant son volume de V à v, nous aurons une première pression, que je puis désigner par Mp, en prenant p pour unité atmosphérique, si le gaz comprimé *conserve toute sa chaleur de compression.*

Nous en aurons une seconde que je désigne par mp, qui se produira, quand toute la chaleur de compression aura disparu par radiation, et que le gaz sera revenu à la température 0.

De là les deux formules connues :

$$\frac{mp}{p} = m = \frac{V}{v};$$

$$\frac{Mp}{p} = M = \left(\frac{V}{v}\right)^{\gamma}.$$

Les lettres m et M représentent ici le nombre d'atmosphères de la pression.

La première est celle de Mariotte, sous la forme la plus simple et la plus exacte par la raison qu'elle suppose l'invariabilité de la pression atmosphérique quelle qu'elle soit.

La seconde est celle de Laplace et Poisson; c'est, comme vous le voyez, une formule qui restera indéterminée, tant que γ le sera lui-même.

Ces deux formules expriment deux grandes lois naturelles.

Celle de Mariotte est aussi simple que possible.

Celle de Laplace et Poisson ne l'est nullement quand on attribue à γ l'une des nombreuses valeurs données par l'expérience.

Elle ne devient simple; comme doivent l'être toutes les expressions des grandes lois naturelles, que quand on y fait $\gamma = 2$.

On a alors pour les deux lois de la compression des gaz :

Sans la chaleur de compression $m = \frac{V}{v}$ (loi de Mariotte).

Avec la chaleur de compression $M = \left(\frac{V}{v}\right)^2$ (loi nouvelle).

C'est en me basant sur cette dernière formule, que je suis parvenu, dans mes Dialogues sur la mécanique, à une nouvelle expression, de la

vitesse de propagation du son, qui concorde parfaitement avec l'expérience. Or, comment admettre qu'on puisse arriver, en partant d'une formule, qui ne serait pas exacte, à une seconde formule dont l'exactitude est incontestable ?

Pardonnez-moi, Messieurs, si je m'étends un peu trop longuement peut-être sur cette question du rapport des deux chaleurs spécifiques, question dont l'importance est capitale en physique et, par suite, en mécanique. Je l'ai étudiée sous toutes ses faces, et j'ai en portefeuille plus d'une démonstration inédite de la relation :

$$\gamma = 2.$$

Je n'ai point l'intention de vous les soumettre ici ; ce serait abuser de votre patience et de votre temps.

Toutefois, je crois devoir appeler votre attention sur une note qui est publiée dans le compte rendu du Congrès que l'Association française pour l'avancement des sciences a tenu, en 1876, à Clermont-Ferrand.

Je crois avoir démontré dans cette note, dont je mets ici des exemplaires à votre disposition, que dans les belles expériences de Regnault, sur les chaleurs spécifiques des corps gazeux, le résultat calorimétrique représente, en réalité, le $2c_1 - c$, ou, ce qui revient au même, suivant la théorie que je soutiens depuis onze ans, le $3c$, au lieu du c_1 du gaz expérimenté, comme le suppose le grand physicien. Il résulte de cette interprétation, dont vous verrez les motifs dans ma note, que le résultat calorimétrique obtenu pour le gaz hydrogène, et qui est en moyenne de 3.16, doit être considéré comme le triple du c de ce gaz, ce qui donne pour la valeur expérimentale de la capacité calorifique de l'hydrogène sous volume constant :

$$c = 1.05.$$

La valeur théorique du c de l'hydrogène étant 1, on voit que l'expérience se rapproche ici sensiblement de la théorie ; car il faut prendre en considération la difficulte exceptionnelle des expériences entreprise par Regnault.

Je termine, Messieurs, en plaçant sous vos yeux un tableau final dans lequel je résume les résultats que j'ai obtenus en me basant sur la thermo-dynamique, sur des expériences indiscutables, sur l'idée harmonique et sur le simple raisonnement.

TABLEAU RÉCAPITULATIF.

NOMS DES GAZ. 1	POIDS atomiques. 2	DENSITÉS. Celle de l'air étant 1. 3	POIDS du mètre cube. 4	VOLUMES occupés par kilogramme. 5	CHALEUR spécifique sous volume constant 6
Hydrogène.	1	$\rho = \frac{1}{14.40} = 0.06944...$	$\rho\delta = 0^k.09$	$\frac{1}{\rho\delta} = 11^{mc}.111..$	1
Oxygène. .	16	$\omega = \frac{16}{14.40} = 1.1111....$	$\omega\delta = 1.44$	$\frac{1}{\omega\delta} = 0.69444...$	$\frac{1}{16}$
Azote.....	14	$\iota = \frac{14}{14.40} = 0.97222...$	$\iota\delta = 1.26$	$\frac{1}{\iota\delta} = 0.79365$	$\frac{1}{14}$
Air.	14.40	1	$\delta = 1.296$	$\frac{1}{\delta} = 0.7716$	$\frac{1}{14.40}$

Les poids de la colonne 4 sont estimés sous la pression atmosphérique harmonique :

$$\Pi = 10\,368.$$

Équation pour les trois gaz : oxygène, hydrogène et air : $10\,\omega\rho\delta = 1$.

Hauteur de l'atmosphère terrestre, en supposant la densité de l'air constante :

8 000 mètres.

Composition de l'air en volumes : 1 d'oxygène et 4 d'azote.

Composition en poids :

$$\frac{2}{9} \text{ d'oxygène et } \frac{7}{9} \text{ d'azote.}$$

Composition de l'eau en volume et en poids :

$$\frac{1}{9} \text{ d'hydrogène et } \frac{8}{9} \text{ d'oxygène.}$$

Coefficient de dilatation des gaz :

$$\alpha = \frac{1}{270}.$$

Chaleur latente de 1 kilogramme de vapeur d'eau :

$$540 = \frac{2}{\alpha} \text{ calories.}$$

Chaleur dégagée dans la combustion de 1 kilogramme d'hydrogène et de 8 kilogrammes d'oxygène :

$$34\,560 = \frac{128}{\alpha} \text{ calories.}$$

Pression de liquéfaction de l'oxygène.

$$\mu = 694^{at}.444.$$

Pression de liquéfaction de l'hydrogène :

$$16\mu = 11\,111^{at}.1111.$$

Rapport des deux chaleurs spécifiques des gaz : $\gamma = 2$.

Équivalent mécanique de la chaleur :

$$E = \frac{1280}{3} = 426.666...$$

Compression des gaz — sans chaleur (loi de Mariotte) :

$$m = \frac{V}{v}.$$

Compression avec chaleur (loi nouvelle) :

$$M = \left(\frac{V}{v}\right)^2 = m^2.$$

SITUATION GÉNÉRALE

DES INDUSTRIES TEXTILES

PAR M. ÉDOUARD SIMON.

Depuis que le régime économique de la France a été modifié par les traités de commerce, en 1860, les industries manufacturières d'Europe et d'Amérique ont été violemment ébranlées à deux reprises, une première fois lors de la guerre de sécession aux États-Unis, puis à l'époque de la guerre franco-allemande. Nous ne tenons pas compte des crises secondaires, dont le retour devient de plus en plus fréquent et normal avec le développement excessif de la production dans certains pays.

Au moment où l'application de notre tarif général des douanes va devenir, vis-à-vis les pays qui ne veulent pas se lier par des traités, la consécration de longues et difficiles enquêtes parlementaires, après une période de calme suffisante pour fournir des moyennes d'évaluations, il ne semblera peut-être pas inutile de comparer sommairement l'état de nos spécialités textiles à celui des industries similaires dans les pays étrangers et de rechercher les causes de développement ou d'arrêt de ces spécialités.

Sans nous livrer à de longues digressions d'économie politique, sans entrer dans tous les détails des questions soulevées, nous serons obligé à quelques développements nécessités par la variété même du sujet.

Pour plus de méthode nous considérerons successivement le coton, le lin, la laine cardée, la laine peignée, la soie.

COTON

L'industrie du coton et, en particulier, la filature étant presque exclusivement automatique, le fuseau mécanique, c'est-à-dire la broche, constitue un élément de comparaison assez sûr. Il existe divers systèmes de broches : le renvideur self-acting et le continu à anneau fournissent des vitesses un peu différentes, la production annuelle d'une broche varie aussi avec le numéro ou le titre du fil fabriqué, néan-

moins le nombre des broches en activité dans chaque pays présente la meilleure base d'estimation.

Le tableau suivant, emprunté à l'intéressant rapport de M. Carcenac sur les fils et tissus de coton à l'Exposition universelle de 1878, offre des renseignements complets puisés dans les statistiques officielles de 1852, 1867 et 1878 :

PAYS.	NOMBRE DE BROCHES EN		
	1878.	1867.	1852.
Angleterre	41.000.000	34.000.000	18.000.000
Russie	3.000.000	1.500.000	1.000.000
Suède et Norwège	305.000	»	»
Allemagne	4.650.000	2.000.000	900.000
Autriche	1.555.000	1.500.000	1.400.000
Suisse	1.850.000	1.000.000	900.000
Pays-Bas	230.000	»	»
Belgique	800.000	625.000	400.000
France	4.600.000	6.800.000	4.500.000
Espagne	1.750.000	700.000	»
Italie	800.000	300.000	»
Amérique	10.500.000	8.000.000	5.500.000
Indes	1.250.000	600.000	1.000.000
Totaux	72.290.000	57.025.000	33.600.000

De ces chiffres il résulte que si, dans l'ensemble, le nombre des broches s'est accru de plus de 200 pour 100, les divers pays n'ont point marché du même pas.

Ainsi, tandis que la Grande-Bretagne, déjà pourvue d'un outillage énorme, augmentait encore le nombre de ses broches de près de 228 pour 100, la France ne parvenait pas à combler le déficit causé par la perte de l'Alsace.

La Russie, par contre, triplait le matériel de ses filatures de coton, l'Allemagne faisait plus que le quintupler, la Suisse et la Belgique le doublaient, l'Espagne développait la même industrie de 250 pour 100, l'Italie de 266 pour 100.

Enfin, les États-Unis, après la guerre de sécession, en dépit des prédictions les plus pessimistes contre lesquelles notre regretté maître Michel Alcan avait toujours lutté, se relevaient avec leur énergie caractéristique et doublaient à peu près, en dix ans, le nombre de leurs broches.

Un premier fait semble inexplicable : au fur et à mesure que ses débouchés diminuent, que des pays nouveaux en industrie cotonnière se forment et se protègent contre ses importations, l'Angleterre augmente le matériel de ses filatures. Sans doute, là comme sur le champ de bataille, le succès doit souvent appartenir aux gros bataillons, toutefois c'est à la condition de pouvoir nourrir les troupes. Or, d'une récapitulation également citée par le rapporteur de la classe 30, il apparaît que le Royaume-Uni n'arrive à consommer que 15 à 20 pour 100 de sa production.

Le développement de la filature anglaise n'a pas été le résultat d'un accroissement proportionnel de débouchés, mais en partie la conséquence d'une évolution économique dont nous avons antérieurement indiqué la marche rapide[1]. Les Sociétés coopératives, particulièrement encouragées dans le district d'Oldham par les mœurs locales, par l'importance des constructions mécaniques excédant toujours les besoins, sont venues ajouter à la pléthore dont le marché anglais souffrait déjà par intermittences moins rapprochées. Les anciens établissements amortis depuis longtemps et les nouveaux, pourvus d'un personnel directement intéressé aux bénéfices, luttent avec une ardeur qui se traduit par un supplément de production et que doivent modérer de temps à autre le *short time* et même le chômage total.

Les dangers de la situation sont accrus par une transformation d'autre sorte en Amérique. L'abolition de l'esclavage, en restreignant dans le Sud les bénéfices des planteurs, a incité ceux-ci à travailler une partie de la matière première que jusqu'alors ils se bornaient à vendre aux États du Nord. Les derniers, ne trouvant plus sur le marché intérieur des débouchés suffisants, en cherchent nécessairement de nouveaux et viennent concurrencer les produits anglais dans des contrées que nos voisins exploitaient à peu près seuls.

Placée entre l'Angleterre ainsi menacée et la Suisse qui a trouvé dans l'abondance des chutes hydrauliques, dans le bon marché de la main-d'œuvre et dans la sécurité d'une situation exceptionnelle, les moyens d'exporter environ les deux tiers de sa production, comment s'étonner que la France, grevée après la guerre de 1870 de 750 millions d'impôts nouveaux, liée par des traités qui ne lui permettaient pas de soumettre les produits importés à des charges équi-

1. Les Sociétés coopératives en Angleterre. — Renseignements et statuts. — Séance du 6 octobre 1876.

valentes, n'ait pu reconstituer en deçà de sa nouvelle frontière ni ses ateliers de constructions mécaniques ni ses filatures ni ses tissages d'Alsace ?

LIN, CHANVRE, JUTE

Les observations qui précèdent, s'appliquent à l'industrie du lin. Comme pour le coton, l'effondrement du premier empire fournit à l'Angleterre la possibilité de prendre l'avance ; l'invention de la filature mécanique du lin due, on le sait, à notre compatriote Philippe de Girard, lui fut soustraite par deux associés qui vendirent, en Angleterre, les dessins de ses machines, les copies de ses brevets. Philippe de Girard ruiné par la chute de Napoléon, mais non découragé, désireux de s'acquitter envers ses créanciers et ne pouvant obtenir du gouvernement de la Restauration la reconnaissance d'un engagement pris par l'Empire, se vit contraint d'accepter l'offre de l'Autriche de fonder une filature de lin à Hirtenberg. De là les machines de Ph. de Girard se répandirent en Bohême et en Moravie. Puis, vers 1819, un engagement de dix ans contracté avec la Russie attachait l'éminent ingénieur aux mines de Pologne et, alors que la France oubliait le nom d'un de ses plus nobles enfants, le gouvernement russe créait *Girardow*, ville entière consacrée à la filature mécanique du lin.

En rappelant l'odyssée douloureuse de Philippe de Girard, nous avons énuméré, à part la Belgique, les principaux pays qui filent le lin. Le tableau suivant dressé d'après les renseignements recueillis par l'honorable président du comité linier de Lille, M. Julien Le Blan, permet d'apprécier les forces respectives des concurrents internationaux :

PAYS.	NOMBRE DE BROCHES EN			
	1878.	1870-71.	1867.	1860-61.
Grande-Bretagne.	978.182	866.482	»	592.981
France..... moins de	500.000	525.000	750.000	500.000
Belgique.	285.000	»	»	»
Autriche-Hongrie.....	414.000	400.000	322.000	150.000
Russie.	120.000	»	»	»
Italie.	55.000	»	»	»

On remarque que pour le lin, et il en est de même du chanvre, les pays producteurs de la matière première s'adonnent exclusivement à sa transformation ; la cause en est dans le volume, dans le poids des tiges brutes et même rouies et teillées. Cependant la Russie est loin de filer tout ce qu'elle récolte et les exportations de lins russes comme les chanvres d'Italie fournissent un sérieux appoint aux manufactures des autres pays.

Le tableau ci-dessus montre aussi que la France avait su reprendre son rang en 1860 et se rapprocher du nombre de broches relevé à la même époque dans le Royaume-Uni.

La guerre de sécession privant tout à coup l'Europe de la majeure partie de son approvisionnement cotonnier, donna une impulsion inattendue aux transformations des autres matières et le nombre des broches en lin s'éleva successivement dans la Grande-Bretagne de 592,000 (chiffres ronds) à 866,000 en 1870, et à 978,000 en 1878 ; en Autriche-Hongrie de 150,000 à 414,000 ; pendant la même période, la Belgique atteignit au chiffre de 285,000 broches. La France qui, en 1867, avait accru son outillage de 250,000 broches, en possède moins aujourd'hui qu'en 1860.

Ici encore notre industrie est placée entre deux redoutables rivales : l'Irlande et la Belgique ayant à leur actif le bon marché des machines, de la houille, des transports, en outre, la première, une main-d'œuvre très expérimentée, la seconde, le bas prix des salaires.

Les aptitudes spéciales du personnel anglais sont incontestables, non que l'ouvrier français soit moins intelligent, moins actif, mais le développement de l'industrie britannique permet à chaque établissement de pratiquer constamment le même genre de travail, de produire les mêmes numéros de fils, les mêmes réductions et qualités de tissus ; cette uniformité, impossible avec l'organisation plus modeste de nos manufactures, donne au travailleur anglais une automaticité qui en fait comme un rouage absolument parfait.

La crise, qui pèse sur la filature du lin depuis que le coton a retrouvé sa place dans la consommation générale, n'est d'ailleurs pas limitée à la France, et malgré les conditions favorables énumérées plus haut, les qualités particulières des lins indigènes, nombre d'établissements belges produisent sans bénéfices depuis plusieurs années, uniquement pour couvrir les frais généraux et ne pas laisser péricliter l'outillage. Sur quatre des principales usines de Belgique : la Lys, la linière Gan-

toise, Saint-Léonard et la Liève, la première est la seule qui ait toujours payé intérêts et dividendes; les autres ont cessé de payer les intérêts : la Liève, depuis 1874; Saint-Léonard, depuis 1875, et la Gantoise, depuis 1877 [1].

La plupart des départements français et surtout ceux de l'Ouest sont propres à la culture du chanvre; en raison du poids des matières premières, la filature et le tissage mécaniques se sont développés dans la même région; les destinations des produits : cordages, toiles à voiles, etc., assurent à la spécialité des débouchés en rapport avec l'importance de la fabrication.

Une autre matière relativement nouvelle, désignée quelquefois sous le nom de chanvre de l'Inde, le jute, est largement entrée dans la consommation et pour les articles communs, non exposés à l'humidité, donne lieu à des transactions importantes :

La Grande-Bretagne qui, d'abord, avait cherché à se réserver la matière première et monté 120,000 broches en jute, est concurrencée par le pays d'origine; l'Inde anglaise renferme aujourd'hui 80,000 broches à filer le jute. L'Angleterre et son empire indien possèdent ainsi les deux tiers de cette filature. Viennent ensuite la France et l'Amérique pour 30,000 broches chacune; l'Autriche et l'Allemagne possèdent 20,000 broches, la Belgique 10,000, l'Australie 10,000 également.

LAINE

La laine cardée et la laine peignée constituent deux spécialités aussi distinctes par l'organisation manufacturière que par l'outillage. La fabrication des tissus de laine ras est essentiellement française : l'origine de l'étoffe dite mérinos remonte à 1804, année où MM. Jobert-Lucas et Cie de la maison Ternaux, firent breveter cet article. Les machines destinées à la préparation et au peignage des laines longues indigènes furent également créées en France [2].

S'il était besoin de justifier notre industrie de certains reproches de timidité et de routine qui lui sont parfois adressés, de montrer ce dont elle est capable lorsque la spécialisation lui est possible, il suffirait de rappeler que le prix du filage s'élevait encore, en 1862, à 5 fr. 75 les

1. Le lin en Belgique, en Hollande et en Allemagne, par M. Alf. Renouard, fils.
2. Voir *Traité du travail des laines peignées*, par Michel Alcan. — Baudry, éditeur, 1873.

100 échées de 700 mètres, pour la trame n° 114, et à 5 fr. 25 pour la chaîne n° 80, que les mêmes fils coûtaient à peine, en 1872, 2 fr. 85 et 2 fr. 35, malgré une augmentation de main-d'œuvre de plus de 20 pour 100[1].

Ces prix, qui laissaient une marge suffisante de bénéficos, ne se sont pas maintenus. Après le grand mouvement d'affaires qui a suivi les événements de 1870-1871, les prix moyens, dans les bons établissements, sont tombés à 1 fr. 50 et même à 1 fr. 25, les 100 échées de 700 mètres, en chaîne (tous numéros), et à 1 fr. 50 en trame n°s 90 à 130.

Aujourd'hui la crise sévit plus que jamais et des filateurs produisent à façon, moyennant 1 centime 10, parfois même au-dessous, l'échée de 700 mètres, en trame ou en chaîne indistinctement. Le nombre des broches françaises en laine peignée était, en 1862, de 1,300,000, en 1867, de 1,750,000 et s'élevait, en 1878, malgré la perte des importantes usines alsaciennes, à 2,270,000.

Grâce aux perfectionnements de la filature, le métier à tisser à bras, sur lequel l'ouvrier ne pouvait lancer plus de 35,000 duites en douze heures, moyennant un salaire de 1 fr. 75 à 2 francs par jour, est complètement remplacé par l'outillage automatique; deux métiers mécaniques, facilement surveillés par une seule personne dont le salaire moyen varie entre 4 francs et 4 fr. 25, fournissent, en douze heures également, 140,000 duites[2]. Ainsi, avec moins de fatigue, le tisseur gagne plus que le double et produit quatre fois autant.

Les améliorations réalisées dans le matériel n'eussent pas donné ces résultats, si la nature même de la production n'avait permis de l'uniformiser pour ainsi dire, de créer de vastes usines où se trouvent réunis peignage, filature et tissage.

D'autre part, le développement de la même industrie a provoqué la fondation d'établissements non moins importants de filature ou de peignage exclusivement et, tandis que la Grande-Bretagne conservait le monopole des fils au continu, produits, à l'origine, avec les laines d'Écosse longues et brillantes, notre pays ouvrait d'importants débouchés à son commerce d'exportation avec ses propres laines filées au mule-jenny. Le large appoint des laines de Russie, d'Australie, du Cap,

1. *Traité du travail des laines peignées*, par Michel Alcan.
2. Rapport du Jury de la classe 32 à l'Exposition de 1878, par M. Kœchlin-Schwartz.

de la Plata, etc., n'a pas altéré le caractère distinctif des filés anglais et français.

Dans cette spécialité comme dans les autres industries textiles les divers pays manufacturiers sont désireux de se suffire et de prendre place sur les marchés extérieurs. Les États-Unis, qui ont toujours apprécié les étoffes de Reims, veulent se réserver en Amérique la fabrication des tissus de laine ras et montent de nombreuses peigneuses; la Belgique, non contente d'avoir largement accru la filature et le commerce des laines cardées, cherche également, depuis quelques années, à multiplier ses ateliers de peignage. Il en est de même en Allemagne.

Nous avons cité la Belgique pour le marché des fils cardés, nos voisins des Flandres sont fiers à bon droit des résultats obtenus. Le tableau ci-après résume le mouvement des exportations verviétoises pendant les années 1877, 1878, 1879 :

EXPORTATIONS DE FILS DE LAINE CARDÉE DE BELGIQUE EN

		1877	1878.	1879.
Allemagne et Autriche.........	kil.	1.634.000	1.382.000	1.800.000
Suisse......................		56.000	54.000	51.000
Angleterre..................		2.535.000	3.684.000	3.877.000
France......................		393.500	891.000	483.000
Divers......................		249.000	375.000	407.000
	kil.	4.867.500	6.386.000	6.618.000

Le rapport général de la chambre de commerce de Verviers, auquel sont empruntés ces chiffres, se charge d'en expliquer les variations dans les lignes suivantes :

« Les points saillants de ce tableau sont la réduction de 891,000 à « 483,000 du côté de la France et l'augmentation de 1,382,000 à « 1,800,000 du côté de l'Allemagne.

« Bien que ces différences soient considérables, elles n'ont rien qui « doive nous étonner; notre exportation vers la France s'était subite- « ment développée à cause de la mode qui avait donné la vogue aux « tissus de laine cardée pour vêtements de dames. Les choses ont « changé depuis, et nous en revenons à un chiffre qui, pour être forte- « ment réduit, n'en reste pas moins supérieur à celui des années qui « ont précédé 1878.

« Pour l'Allemagne, l'année précédente nous avait étonnés par une « différence de 2 à 300,000 kilog. en moins sur les chiffres auxquels

« elle nous avait habitués. 1879 a non seulement rétabli l'équilibre, « mais il nous reporte aux plus hautes limites que nous ayons jamais « atteintes.

« Quant à l'Angleterre, on pourrait trouver que l'augmentation de « 200,000 kilog., sur près de 4 millions est peu digne de remarque, « mais il est une circonstance qu'il ne faut pas perdre de vue : en « 1878, le Yorkshire et les autres provinces du centre de l'Angleterre, « nous avaient demandé des quantités considérables. En 1879, cette « demande a presque complètement disparu et nous n'en sommes pas « moins arrivés à une forte augmentation. C'est donc le marché « écossais qui a repris pour nous une importance dont il avait perdu « en 1877 et surtout en 1876, et nous avons à nous féliciter de « pouvoir constater ce fait qui ne peut que se répéter en 1880[1]. »

Deux causes paraissent surtout contribuer à cette prospérité : 1° la situation et l'aménagement du port d'Anvers, dont l'un de nos Collègues les plus autorisés nous rendait compte récemment; 2° le mode de rémunération de la filature à façon.

A part un nombre relativement restreint de grands établissements qui réunissent toutes les opérations, la majorité des fabricants belges et français ne file pas la matière première.

En France, en Normandie notamment, où les centres lainiers peuvent être comparés au groupe de Verviers, le cardage et le filage sont payés séparément, la première transformation à tant par kilogramme, la seconde suivant la finesse du fil; en Belgique, au contraire, le titre du fil forme seul la base du prix de façon. Le filateur belge a donc intérêt à surveiller la *préparation* pour atteindre facilement à la plus grande finesse, le filateur français cherche, d'abord, le maximum de production à la carde sans se préoccuper autant du résultat final.

Dans les deux cas, le mode d'estimation du service rendu explique comment avec les mêmes machines la filature belge tire généralement meilleur parti des laines cardées, produit des mélanges mieux fondus et, par suite, des fils plus résistants.

Cette différence, qu'un tarif de filature bien établi contribuerait sans doute à faire disparaître, n'a pas eu seulement pour conséquence de développer la vente des fils belges, mais d'aider à l'extension du tissage

1. Rapport général sur la situation du commerce et de l'industrie de l'arrondissement de Verviers, pendant l'année 1879, p. 72 et suiv.

mécanique chez nos voisins. Les progrès du tissage automatique, on l'a vu pour le peigné, sont liés aux perfectionnements de la filature.

Il est incontestable qu'avec la généralisation du bien-être, les modes tendent à se démocratiser; tout en recherchant le bon marché le consommateur veut des produits solides et relativement élégants. Le travail mécanique répond à cette double exigence. Nous ne devons donc pas oublier que la Grande-Bretagne possède, en laine cardée, plus de 58,000 métiers à tisser automatiques (travaillant surtout avec chaînes coton ou laine et coton), en laine peignée plus de 81,000 métiers et qu'en France les deux spécialités réunissent seulement 38,000 métiers[1].

SOIE

De tous les textiles, la soie est peut-être celui dont l'approvisionnement et les transformations donnent lieu aux considérations les plus divergentes, selon que l'observateur se place au point de vue du magnanier, du filateur, du tisseur ou du négociant.

L'éducateur de vers à soie et le filateur ont été surtout éprouvés depuis vingt-cinq ans; la production des cocons qui s'était accrue, de 6,000,000 de kilogrammes en 1808, à 26,000,000 en 1853, retombait, sous l'influence de la maladie des vers, à 6,000,000 de kilog., en 1864, à 4,000,000 en 1865, à 2,250,000 kilog. en 1867.

Le fléau a perdu de son intensité; toutefois, en 1875, la récolte des cocons n'était encore dans notre pays que de 10,770,563 kilog. La fabrique dut, pendant cette période calamiteuse, s'approvisionner au loin, en Chine, au Japon, au Bengale, et Lyon devint le grand marché des soies de toutes provenances.

Le mouvement de la Condition de Lyon permet d'apprécier l'importance des approvisionnements exotiques.

En 1877 — dernière campagne citée dans la monographie de cet établissement, par son directeur, M. Perret — sur un poids total de 1,752,207 kilogrammes, la France n'intervenait que pour 144,105 kil., soit 8,22 pour 100, un peu moins que l'Italie (150,480 kil.); la Chine fournissait 878,258 kil. ou 50,12 pour 100, le Japon 425,946 kil., soit 24,31 pour 100.

1. *Étude sur les machines nouvelles de la filature et du tissage à l'Exposition de* 1878. — Éd. Simon.

Si, d'autre part, l'on tient compte d'une augmentation de frais de main-d'œuvre que le prix de la matière première ne peut souvent compenser, bien des défaillances individuelles, bien des découragements deviennent explicables.

La fabrique, à son tour, n'est pas épargnée par la concurrence et, pour satisfaire aux tendances de la consommation que nous signalions précédemment, se voit obligée à *charger* de plus en plus ses produits, à masquer par d'habiles entrelacements, sous une surface soyeuse et brillante, des matières plus communes et moins coûteuses. Sans aller jusqu'à dire, comme le rédacteur d'un organe spécial : « Aujourd'hui « la soierie est un composé chimique, dans lequel il entre un peu de « soie [1], » il est certain que les fabricants de Lyon et de Saint-Etienne ont dû, pour lutter de bon marché avec la Suisse et avec l'Allemagne, non seulement monter beaucoup d'articles unis sur des métiers mécaniques qui modifient complètement l'organisation manufacturière et lui laissent moins d'élasticité, mais remplacer pour une bonne part la soie proprement dite par des déchets de soie filés, par du coton et par des soies surchargées d'ingrédients chimiques.

Le compte rendu des travaux de la chambre de commerce de Crefeld ne laisse aucun doute sur les proportions usitées par la fabrique allemande. D'après ce rapport, dans 1,391,740 kilogrammes de soieries tissées en 1880 sur les 33,000 métiers de la contrée, il a été employé :

357,563	kilog.	de soie (ou à peine 30 pour 100).
210,633	—	de schappe (déchets ou bourre de soie filée).
823,544	—	de coton [2].

Tous les efforts tentés pour atteindre aux limites du bon marché rendent la lutte de plus en plus vive entre les concurrents internationaux d'Europe pendant que les États-Unis cherchent à s'affranchir du tribut payé jusque dans les dernières années aux fabriques de soieries de l'ancien continent.

« On s'était imaginé faussement — dit le *Courrier de San Francisco* — que les fabriques de soie ne pourraient de longtemps s'établir en Amérique, vu l'absence de matière première et vu aussi « l'espèce toute particulière de main-d'œuvre que requiert une pareille

1. Extrait cité dans la déposition de M. de Lavalette à l'*Enquête sur le Tarif général des douanes* (1879), p. 884.

2. *Moniteur des tissus*, 24 août 1881.

« industrie. C'est aussi pour cette raison que les fabriques de soie
« sont venues si tard ; mais elles n'en sont pas moins venues à leur
« tour et si bien qu'on voit aujourd'hui dans toutes les villes améri-
« caines des magasins où les soieries du crû occupent une place fort
« distinguée dans les étalages. Il n'est pas besoin d'atteindre au *nec*
« *plus ultra* de l'art du tissage pour produire des articles utiles et
« nous pouvons affirmer que les soieries américaines brillent non seu-
« lement par ce côté, mais encore par le côté de l'apparence, car elles
« ne manquent ni de lustre ni d'éclat. Ce qui leur manque le plus,
« c'est la réputation, réputation à laquelle on peut suppléer en les
« offrant aux acheteurs comme étant de provenance française...

« Les soieries américaines s'écoulent donc de cette manière et le
« succès de vente en est grand. Il n'y a pas même là de supercherie
« blâmable, car la qualité de l'article équivalant à celle de produits
« européens pour le même prix, l'acheteur n'y perd rien en croyant
« s'être pourvu d'une marchandise jusqu'à présent réputée sans rivale.
« On a donc fait ce qu'on croyait infaisable, au moins pendant une
« longue série d'années, et on l'a fait dans les conditions les plus
« défavorables, car si les fabriques de coton et de laine avaient leur
« matière première dans leur voisinage et, pour ainsi dire, sur les
« lieux mêmes, les fabriques de soie n'avaient pas cet avantage. La
« matière première leur manquait, les États-Unis ne produisant pas
« encore de cocons d'une manière appréciable [1]... »

Le fait signalé par le journal californien se trouve confirmé par les relevés officiels des douanes françaises, car l'exportation de nos tissus de soie et de bourre de soie est tombée de 435,848,000 francs, en 1872, à 375,665,000 francs, en 1875, et à 240,280,000 francs, en 1880.

Les statistiques publiées par l'administration sont ainsi conformes au tableau un peu sombre qui vient d'être présenté ; on reconnaîtra, par l'état comparatif ci-après entre les importations et les exportations des années 1875 et 1880, que le développement des spécialités textiles dans notre pays se trouve menacé.

1. L'*Industrie française*, 5 août 1881.

… par la Commission des valeurs.

DÉSIGNATION.	IMPORTATIONS.		EXPORTATIONS[1].	
	1880.	1875.	1880.	1875.
MATIÈRES PREMIÈRES.				
Laines	329.160.000 fr.	337.757.000 fr.	115.929.000 fr.	84.116.000 fr.
Poils de toute sorte	6.608.000	7.409.000	11.736.000	11.249.000
Œufs de vers à soie	788.000	881.000	2.673.000	122.000
Soies et bourre de soie	332.300.000	330.120.000	160.743.000	133.046.000
Jute	14.506.000	14.706.000	»	»
Chanvre	13.206.000	13.327.000	»	»
Lin	68.441.000	90.250.000	13.581.000[2]	18.173.000[2]
Coton en laine	203.946.000	221.304.000	64.703.000	52.013.000
	968.955.000	1.015.754.000	369.365.000	298.719.000
PRODUITS FABRIQUÉS.				
Fils de laine	15.712.000	18.255.000	44.908.000	39.722.000
— poils de chèvre	6.191.000	11.493.000	»	»
— jute	96.000	51.000	2.984.000	1.802.000
— lin ou de chanvre	7.939.000	11.154.000	5.991.000	12.711.000
— coton	31.610.000	42.562.000	3.653.000	4.095.000
	61.548.000	83.515.000	57.536.000	58.330.000
Tissus de laine	77.263.000	78.073.000	354.833.000	346.392.000
— soie et de bourre de soie	42.289.000	37.232.000	240.280.000	375.665.000
— poil et de crin	1.322.000	3.075.000	»	»
— jute	2.185.000	336.000	2.222.000	1.397.000
— lin ou de chanvre	10.100.000	13.362.000	29.026.000	35.477.000
— coton	63.554.000	84.405.000	76.532.000	81.526.000
	196.713.000	216.433.000	702.893.000	840.457.000
Machines et mécaniques, dont 20 à 25 % (suivant les années) pour filatures et tissages	41.507.000	32.279.000	24.122.000	25.013.000

1. Marchandises françaises ou francisées. — 2. Lin teillé et étoupes.

Le total des importations, en 1880, est inférieur de 90,486,000 fr. au total des importations de 1875; cette différence porte principalement sur les matières premières non fabriquées (48,799,000 fr.) et sur les produits de la filature (21,967,000 francs) qui, dans nombre de cas, peuvent être considérés comme matière première du tissage.

Aux exportations, bien que la vente des matières premières indigènes ou *francisées* fournisse, pour le commerce spécial des laines, un accroissement de 31,813,000 francs, et pour le marché des soies une plus-value de 27,697,000 francs, l'ensemble (y compris fils et tissus) accuse aussi une différence en moins de 67,712,000 francs.

En d'autres termes, le commerce spécial de la France, en 1880, a perdu, sans tenir compte des matières tinctoriales, des produits chimiques, des machines nécessaires aux transformations de la filature et du tissage, plus de 158 millions, eu égard à l'année 1875.

L'amoindrissement des forces productives de la France provoque de la part de l'observateur désintéressé des questions multiples. Il est conduit à se demander si le régime des traités de commerce favorise l'expansion de l'industrie, voire même des relations exclusivement commerciales.

Personne ne songe à revenir à la prohibition, qui est la négation de la vie internationale, pas plus qu'à proclamer le libre-échange absolu, cet idéal auquel les peuples aspirent comme à la paix universelle. La question est plus restreinte.

Le marché français est recherché par de nombreux concurrents qui en apprécient la sécurité. Est-il prudent, à une époque où les situations industrielles et les conditions économiques se modifient du jour au lendemain sous l'influence d'une découverte scientifique, d'une législation nouvelle, d'une coalition d'intérêts, d'un événement extérieur, de préférer des tarifs conventionnels à longue échéance et immuables à des tarifs généraux réduits, toujours susceptibles de rectifications?

Ne semble-t-il pas que si les conditions auxquelles les parties échangent leurs produits, sont avantageuses, il devienne inutile d'en imposer les termes par un acte diplomatique; autrement, si l'un des contractants se trouve lésé, il lui faudra recourir à une rupture violente ou subir une attente qui épuisera ses forces? La leçon de 1870-1871 est trop récente pour être oubliée.

Comment, d'autre part, concilier la stagnation des industries avec le développement de ce que l'on a justement appelé l'outillage national? Cet outillage rend-il tous les services que le producteur est fondé à lui demander?

A n'envisager que les transports par voie ferrée relatifs aux industries textiles, les quelques exemples ci-après permettent d'en douter :

« Le prix de transport de 10,000 kilos de lin, de Kœnigsberg à Douai, « distance 1,540 kilomètres est de 492 francs, celui de Coutances « (Manche) à Douai, distance 506 kilomètres, est de 477 fr. 50. « Soit un tarif trois fois moins élevé sur les chemins de fer étran- « gers[1]... »

Du Havre à Épinal, par chemins de fer français, une tonne de coton paye 49 fr. 55; du Havre à Épinal, vià Anvers, la même quantité de matière paye seulement 45 francs, droits de douane non compris, bien entendu.

De Liverpool à Mulhouse, par Anvers, le transport d'une tonne de coton coûte 49 francs et du Havre, par la même voie, 44 francs. Si ce coton est expédié du Havre sur rails français, il lui faut supporter, en transit, un tarif de 48 fr. 85, et si la marchandise sort d'un magasin havrais, la taxe s'élève à 59 francs...

L'industrie française possède une élasticité, une souplesse qui lui ont permis de traverser déjà bien des crises, il suffit de ne pas l'entraver pour qu'elle trouve des débouchés inattendus.

Comme les individus, les nations ont leurs aptitudes et ce n'est point par grandes masses que s'impose le commerce extérieur de notre pays, c'est par la variété des produits, le soin et l'élégance apportés aux confections les plus simples. L'exportation française est, en effet, solidaire de la consommation intérieure dont elle reflète les goûts; nos transactions se sont toujours accrues ou restreintes simultanément au dehors et au dedans. Cette relation oblige à noter tout arrêt, à plus forte raison tout recul dans le développement du commerce spécial. C'est le motif qui nous a déterminé à insister aussi longuement sur une situation prévue et excellemment définie par l'auteur du *Système des contradictions économiques :* « Les machines « ne marchent pas toutes seules : il faut, pour entretenir leur mouve-

1. Rapport de M. de Billiencourt, président de la chambre de commerce de Douai, à la suite du voyage de M. de Freycinet dans le Nord.

« ment, organiser autour d'elles un immense service ; tellement qu'à « la fin l'homme se créant à lui-même d'autant plus de besogne qu'il « s'environne de plus d'instruments, la grande affaire avec les ma- « chines est beaucoup moins d'en partager les produits que d'en « assurer l'alimentation, c'est-à-dire de renouveler sans cesse le « moteur. Or, ce moteur n'est pas l'air, l'eau, la vapeur, l'électricité ; « c'est le travail, c'est-à-dire le débouché [1]. »

1. Proudhon, t. Ier, p. 165.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'OCTOBRE 1881

Séance du 7 Octobre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 août est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a la satisfaction d'annoncer que M. F.-J. Bramwel, membre de la Société, ancien Président de l'Institution of Mechanical Engineers, Vice-Président de l'Institution of civil Engineers, vient d'être élevé à la dignité de Chevalier par S. M. la Reine d'Angleterre.

M. LE PRÉSIDENT fait part du décès de M. Vaessen, directeur de l'usine de Saint-Léonard (Belgique), et de celui de M. Étienne qu'il annonce dans les termes suivants :

ÉTIENNE, Antoine, est sorti de l'École centrale, en 1855, avec le diplôme d'ingénieur. Il avait alors 31 ans; à l'âge de 13 ans, il débutait comme apprenti, chez M. Amédée Durand, et il y était devenu chef des ateliers. A 27 ans, il entra chez M. Martelet, pour se préparer à l'École. Il y avait dans cette détermination d'Étienne, une certaine force de volonté et de ténacité, dont il a souvent donné des preuves.

Entré au chemin de fer du Midi, à sa sortie de l'École, et placé sous ma direction, je le chargeai de l'installation des ateliers de réparations de Bordeaux. Ce travail fait, il voulut connaître la conduite des locomotives et il ne recula pas devant le rude métier de chauffeur. Après l'examen réglementaire il fut reçu mécanicien, et afin de ne rien ignorer du service du matériel et de la traction, il me demanda ensuite, de suivre la construction des locomotives. Je l'envoyai comme inspecteur, chez M. Gouin, et c'est après cette mission accomplie qu'il fut choisi, par M. Le Châtelier,

pour être ingénieur des services techniques au chemin de fer de Séville à Cordoue, il s'acquitta parfaitement de ces fonctions.

Il resta encore quelques années en Espagne, où la connaissance qu'il avait du pays lui amena de nombreuses affaires.

En 1880, il partit pour l'Algérie diriger le service de la traction du chemin d'Arzew à Saïda. Il n'y resta pas longtemps, et, de retour en France, il vint me prier de lui trouver une nouvelle position. Il voulait finir sa carrière en s'attachant à une grande entreprise. Le canal de Panama le séduisait; je fis des démarches auprès de notre excellent collègue, M. Hersent, qui le prit d'abord, auprès de lui, à Paris. M. Hersent eût bientôt apprécié toute sa valeur, et il l'envoya en résidence sur les lieux mêmes, comme ingénieur du chemin de fer de Colon à Panama, que la Compagnie du canal venait de racheter, et, en outre, avec la mission de préparer l'installation des machines destinées aux dragages.

Il a succombé, le 25 juillet, au milieu de ses travaux, à une maladie dont il avait déjà ressenti les premières atteintes en Europe.

Étienne, était un ingénieur praticien habile, consciencieux, dévoué et modeste; d'un caractère facile, il avait su, partout où il a été, s'attirer l'affection de ses chefs et l'attachement de ses subordonnés.

Sa mort est une perte pour le Génie civil, c'est une perte, aussi, pour notre Société.

Il est ensuite donné lecture de la lettre suivante de M. Eiffel :

Monsieur le Président,

Je vous transmets quelques courtes observations relatives à la communication de M. Bodin, que j'aurais présentées verbalement à la séance du 7, si je n'avais dû m'absenter.

Je tiens à mettre en garde les ingénieurs contre les chiffres portés à cette note, autres que ceux extraits des communications de M. Nordling, car ils sont complètement erronés, et les conclusions que M. Bodin croit pouvoir en tirer ne le sont pas moins.

Il n'entre pas dans mes convenances de relever toutes ces erreurs, cependant je ferai remarquer :

1° Que le prix adopté par M. Bodin pour le pont du Douro, sur lequel il échafaude tous ses calculs de comparaison avec le viaduc de Garabit, est de 965,000 fr., tandis que d'après de nombreuses publications faites soit par moi, soit par des documents que j'ai communiqués, ce prix est en réalité de 1,340,000 fr.

2° Que les prix de détail qu'il avance pour le viaduc de Garabit, sont très loin de la vérité. Pour n'en citer que deux exemples :

Le prix des viaducs d'accès en maçonnerie est estimé par M. Bodin à 176,000 fr., tandis que leur valeur réelle est de 400,000 fr. environ, soit une erreur plus grande que du simple au double.

Le soubassement d'une pile principale, estimé à 25,000 fr., doit être porté au moins à 100,000 fr., etc., etc.

Ces quelques chiffres suffisent pour montrer le degré de confiance que l'on doit attacher, je ne dirai pas aux conclusions de cette communication puisqu'elles ne semblent pas se formuler, mais aux critiques que M. Bodin paraît vouloir faire du système adopté pour le passage de la vallée de Garabit.

Je vous serais reconnaissant, Monsieur le Président, de vouloir bien donner lecture de cette lettre à la prochaine séance, et, en vous remerciant d'avance, je vous prie d'agréer l'expression de mes sentiments dévoués.

G. Eiffel.

M. le Président. Dans la dernière séance du 5 août je vous annonçais que la Commission chargée, par le Comité, de l'étude de l'Exposition d'électricité allait se réunir, et je vous invitais à vous y faire inscrire.

Les visites ont commencé le 23 septembre, aujourd'hui a eu lieu la troisième, j'invite tous les Membres à assister à celles qui vont suivre.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Piarron de Mondesir sur l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, l'air et l'eau (voir le Mémoire, page 283).

M. le Président remercie M. Piarron de Mondesir de sa communication qui sera reproduite *in extenso* dans nos Bulletins.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Édouard Simon, sur la situation générale des industries textiles (Voir le Mémoire, page 299).

M. le Président. Je remercie M. Simon de la communication de son travail qui sera reproduit *in extenso* dans nos Bulletins, et qu'il sera très intéressant d'y consulter.

La parole est ensuite donnée à M. Le Cordier pour sa communication sur les voitures à vapeur du système Amédée Bollée.

M. Le Cordier expose que depuis sa communication du 2 mai 1879, quelques perfectionnements ont été apportés à la construction des voitures à vapeur du système Bollée, et qu'en outre leurs applications se sont considérablement développées.

Tout en persistant dans la préférence accordée aux chaudières Field, qui donnent le maximum de vapeur eu égard à leur poids et à leur volume, et qui produisent de la vapeur suffisamment sèche si on la fait passer dans un surchauffeur, on a construit aussi quelques chaudières du type locomotive plus ou moins modifié avec tubes de fumée horizontaux. Mais celles-ci ne donnent assez de vapeur que si on produit dans la cheminée un tirage énergique, tandis qu'avec la chaudière Field la tendance à laisser la vapeur sortir du cylindre sous une pression très faible devient de jour en

jour plus accentuée. Même, pour le cas où on pourrait se passer tout à fait du tirage par jet de vapeur, on s'occupe d'expérimenter des moyens de condensation permettant d'utiliser presque indéfiniment la même eau. Un autre progrès consiste en ce que la distribution rotative de M. Bollée père, dont la bonne marche paraît être définitivement sanctionnée par l'expérience, permet de détendre la vapeur au huitième et même au onzième. Enfin, en ajoutant aux cylindres des enveloppes de vapeur et en donnant aux machines une position horizontale et longitudinale tout près de la chaudière, on est arrivé à obtenir une marche remarquablement exempte de secousses, et pour résultat final une grande économie d'eau et de combustible.

Les moyens d'amoindrir les difficultés provenant du sol des routes ont été également étudiés et pratiqués. A cet égard, on a reconnu que sur presque toutes les chaussées de macadam on peut compter sur un coefficient d'adhérence égal à 0,35. Exceptionnellement, ce chiffre se réduit de moitié sur le macadam composé de basalte très dur, et même des cinq sixièmes sur le macadam calcaire mouillé, tandis qu'il s'élève jusqu'à 0,45 sur le macadam calcaire sec. Heureusement le développement du réseau de nos chemins de fer favorise le transport des bons matériaux d'empierrement, et tend à en généraliser l'emploi. — Le coefficient de roulement s'écarte peu de 0,02 sur toutes les routes en bon état. Il s'élève rarement à 0,04 dans la saison des grandes pluies, et c'est seulement en cas de dégel qu'il augmente subitement, quelquefois jusqu'à 0,08 et au delà. Mais c'est là un inconvénient exceptionnel, et qui, d'ailleurs, n'a de remède que dans l'emploi des bandes de pavage, de dallage ou de ciment. — La question des neiges et verglas paraît être moins grave qu'on ne l'avait cru d'abord : pendant l'hiver dernier on a marché à des vitesses de 20 à 25 kilomètres par heure en employant des crampons mobiles de petites dimensions. Des expériences plus complètes seront faites l'hiver prochain.

Parmi les vingt-cinq voitures à vapeur actuellement construites, vingt-deux se rapportent à six types différents, savoir :

Remorqueurs	grand modèle (marchandises)	1
	moyen modèle (trains mixtes)	2
	petit modèle (trains mixtes)	3
Diligences	grand modèle	6
	moyen modèle	1
	petit modèle (dites Mancelles)	9

Il existe, en outre, trois voitures non comprises dans ces six catégories, plus un grand nombre de chariots, tenders, omnibus remorqués, etc.

M. Le Cordier indique pour chacun des six types la disposition du mécanisme et de la carrosserie, le poids, la composition des trains remor-

qués (pour les trois premiers seulement), le nombre de places offertes aux voyageurs, le poids maximum des bagages et marchandises, la force en chevaux, la vitesse avec différentes charges et sur diverses déclivités, les rampes limite, le prix de premier établissement d'un service public régulier, les dépenses annuelles d'exploitation, le parcours annuel, le prix de revient de la place kilométrique offerte ou de la tonne de marchandises, les tarifs applicables et les recettes annuelles.

Envisageant les chiffres extrêmes, M. Le Cordier expose combien est grande l'élasticité du système pour desservir les plus grands trafics comme les plus petits; il insiste sur ce que, pour les trains les plus chargés dont le poids peut aller jusqu'à 150 tonnes, le prix de revient de la tonne kilométrique s'abaisse, dans certains cas, au dessous de 0 fr. 05, et sur ce que, d'autre part, on peut avec le petit capital de 45,000 fr. créer sur une route donnée, au moyen de deux diligences petit modèle, un service rapide offrant de 10 à 20 places aux voyageurs, à la vitesse de 20 ou 30 kilomètres par heure (le maximum observé en marche étant 40), avec un parcours annuel de 50,000 kilomètres, des tarifs de 0 fr. 08 par voyageur kilométrique, une dépense annuelle de 24,000 fr., intérêts, amortissement et entretien compris, une recette annuelle de 31,000 fr. en supposant la moitié des places occupées.

Avec un septième type de voitures à vapeur actuellement en construction, on portera seulement cinq voyageurs, mais on espère obtenir des vitesses permettant de faire 200 kilomètres dans une demi-journée, et cela dans les conditions de la plus grande économie d'eau, de combustible et d'argent. Le poids total d'un tel véhicule, y compris approvisionnements et voyageurs, serait seulement 1,500 kilogrammes.

Au moyen des 25 voitures à vapeur construites, on a fait d'importantes expériences démonstratives en France, en Autriche, en Allemagne, en Russie, en Italie. On a constitué en France une Société fondatrice étendant son action à toute l'Europe moins l'Angleterre, et dans plusieurs pays des Sociétés d'exploitation dont on s'occupe d'augmenter le nombre et d'accroître le capital. Déjà deux services réguliers sont installés : l'un à Rostock (Mecklembourg) pour voyageurs, à très grande vitesse, a fait de brillantes recettes pendant la saison des bains de mer; l'autre à Stralsund (Poméranie) comprend des trains mixtes à moyenne vitesse et donne d'assez bons résultats pour qu'on s'occupe d'en établir plusieurs autres sur le même modèle. D'importants services rapides pour voyageurs et dépêches sont en voie d'installation dans l'île de Corse.

Pour conclure, M. Le Cordier exprime l'espoir que le système se généralisera. Ce système donnera aux voyageurs des départs fréquents, la vitesse et souvent le transport à domicile, comme conséquence de la traversée diamétrale des lieux habités et de l'arrêt facultatif en tout point; aux chemins de fer et aux services de navigation, il créera des affluents et d'utiles correspondances; aux conseils généraux il offrira des réseaux départementaux qui pourront se contenter de subventions annuelles et remédieront

à l'absence de certains chemins de fer dont les localités secondaires réclament la création, sans qu'on puisse de longtemps songer à les satisfaire. A l'administration, il désignera les lignes où l'importance du trafic de toute nature conseille la création des chemins de fer nouveaux, et après les avoir justifiés par avance, il les fécondera plus tard en portant à leurs gares le tribut des régions circonvoisines. Quant aux routes dont ils auront provoqué l'achèvement ou l'amélioration, ce seront, quoi qu'il arrive, d'utiles ouvrages, si bien que pour donner à l'œuvre tout son développement, il n'y a lieu de faire aucune dépense dont le fruit pourrait être ultérieurement compromis.

M. Quéruel dit que M. Le Cordier ayant signalé qu'il faisait servir à l'alimentation de la chaudière l'eau provenant de la condensation, il serait très heureux qu'il voulût bien donner quelques explications complémentaires à ce sujet.

M. Le Cordier répond que les résultats ne sont pas encore bien acquis, il a beaucoup d'espoir, mais la chose n'est pas suffisamment mûre pour qu'il puisse aujourd'hui faire autre chose que de signaler le fait comme étant en bonne voie de solution.

M. le Président remercie M. Le Cordier de sa communication qui sera publiée *in extenso*, dans les Bulletins de la Société.

La séance est levée à onze heures et demie.

Séance du 21 Octobre 1881.

Présidence de M. Henri Mathieu.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 octobre est adopté.

M. le Président annonce que MM. Biver (Alfred) et Hanrez ont été nommés Chevaliers de la Légion d'honneur, et M. Léon Francq, Officier d'Académie.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Monnier (Denis) sur le *Méthanomètre automatique*.

M. Monnier (Denis). Les appareils que j'ai fait construire en vue de l'analyse technique du gaz d'éclairage et de l'analyse automatique du méthane, ou grisou sont fondés sur une réaction connue : les hydrocarbures, en présence d'un excès d'air atmosphérique, et sous l'influence d'une température élevée, se décomposent en acide carbonique et en vapeur d'eau.

On croyait autrefois que cette réaction était très nette, et qu'elle pouvait se formuler par l'équation simple :

$$CH^4 + O^4 = CO^2 + 2H^2O.$$

M. Berthelot a prouvé que les hydrocarbures dans ces conditions donnent une équation plus complexe; car il se forme toujours un hydrocarbure solide, de la naphtaline qui se dépose sous forme cristalline.

Je commencerai par vous décrire le petit appareil que j'ai l'honneur de vous présenter ici et qui est spécialement destiné à l'analyse technique du gaz d'éclairage.

Cet appareil se compose d'un petit brûleur en verre traversé dans son grand axe par un fil de platine de faible section.

Ce récipient porte trois tubulures : une de ces tubulures est en communication à l'aide d'un tube en caoutchouc avec un manomètre à mercure; les deux autres sont reliés avec deux tubes en caoutchouc qui passent sous un appareil de clanchement.

L'appareil nécessite quatre éléments : Leclanché à grand zinc et un commutateur, qui permet de lancer le courant dans le fil de platine du brûleur, en employant successivement et méthodiquement les éléments 1 et 2, 3 et 4, 1 et 4.

Après avoir introduit dans le brûleur un mélange de cinq volumes de gaz d'éclairage avec quatre-vingt-quinze volumes d'air atmosphérique (ce mélange se fait avec une pipette spéciale), on enclanche les caoutchoucs, de manière à ce qu'il y demeure hermétiquement enfermé.

Le manomètre, muni d'une échelle millimétrique, renferme du mercure dont la hauteur correspond au zéro de l'échelle.

Je lance dans l'appareil le courant produit par les deux éléments 1 et 2 pendant quinze secondes; puis, après un intervalle d'une minute, je lance de nouveau le courant pendant quinze secondes avec les deux autres éléments 3 et 4. J'attends cinq minutes pour permettre à la condensation de se produire. Le mercure s'élèvera à une certaine hauteur dans le manomètre.

Le gaz d'éclairage renferme les hydrocarbures suivants :

Hydrogène Méthane	77 à 85 centièmes du volume total.
Éthylène Propylène Benzine	4 à 7 centièmes.

Le méthane n'est pas décomposé. L'hydrogène, l'éthylène, le propylène et la vapeur de benzine le sont.

Au bout des cinq minutes précitées, je note la hauteur. Puis je lance pendant quinze secondes le courant produit alors par les quatre éléments.

Le fil est rougi à blanc.

Au bout de cinq nouvelles minutes, je fais de nouveau la lecture, je remarque que le mercure s'est élevé à une plus grande hauteur dans le manomètre.

La différence entre les deux niveaux constatés représente la proportion de méthane contenue dans le mélange analysé.

Dans l'espace de quelques minutes, j'ai ainsi effectué le dosage en bloc; d'un côté, de l'hydrogène, de l'éthylène, du propylène et de la benzine; de l'autre, le méthane seul renfermé dans le gaz.

Il s'agit maintenant de déterminer la proportion de l'éthylène, du propylène et de la benzine d'où le gaz tire son pouvoir éclairant.

Pour cela, on effectue une nouvelle prise de gaz, qu'on fait préalablement passer dans un mélange d'acide sulfurique anhydre et monohydraté.

Lorsqu'on traite le gaz par ce réactif, l'éthylène et le propylène seuls sont absorbés. Si l'on veut doser la vapeur de benzine, il suffira de faire encore une prise de gaz, que l'on fera préalablement passer dans un petit laveur, renfermant des mèches de coton imprégnées d'huile d'olive.

La vapeur de benzine se trouve seule absorbée.

Dans le gaz de Genève je n'ai jamais pu constater la présence de la vapeur de benzine, au laboratoire. Il est vrai que l'usine en est assez éloignée.

Dans les usines à gaz même, ou à proximité, on a toujours trouvé de la benzine.

La condensation doit donc se faire pendant le trajet.

L'appareil que je viens de décrire n'a pas d'autre prétention que d'être un appareil purement technique.

Il donne cependant des résultats assez exacts lorsqu'on tient compte du temps pendant lequel le fil de platine rougit et qu'on effectue la lecture à des intervalles parfaitement réguliers.

Il faut tenir compte seulement de la température au moment de l'expérience, la pression atmosphérique ayant peu d'influence sur les résultats.

Je fais en ce moment une série de déterminations avec des hydrocarbures purs qui me permettront de publier prochainement des tables donnant le pourcentage des hydrocarbures entre 10 et 30 degrés.

J'ai cherché à rendre cet appareil automatique pour la détermination du méthane dans les mines; c'est-à-dire à remplacer l'action de l'expéri-

mentateur, nécessairement irrégulière, par celle d'un mouvement d'horlogerie qui enclanche les caoutchoucs et distribue les courants.

L'appareil peut encore s'employer pour la constatation des fuites de gaz dans les établissements publics, tels que théâtres, salles de concerts, etc.

M. Monnier démontre son appareil automatique (voir la figure ci-dessous).



Le brûleur A est en communication avec le manomètre D et avec deux tubes en caoutchouc qui passent sous l'appareil de clanchement.

L'un de ces tubes aboutit à la base d'un soufflet mû par un mouvement d'horlogerie; l'autre, destiné à aspirer l'air ambiant, sort d'une boîte close, contenant l'appareil et le préservant de la poussière.

La pendule actionne le soufflet qui renouvelle l'air du petit brûleur par aspiration et refoulement.

La minuterie de la pendule distribue des courants.

L'appareil de clanchement des caoutchoucs se compose d'un électro-aimant Y et d'une armature en fer doux en forme de ⊥ (T renversé); la branche horizontale du ⊥ est maintenue par deux pointes; lorsque le courant passe dans l'électro-aimant, cette pièce bascule et, par suite, entraîne son levier E qui écrase les caoutchoucs reposant sur une plate-forme métallique N.

L'extrémité du levier E est taillée en biseau; elle appuie contre un cône en acier fixé sur l'armature à bascule de l'électro X destiné au déclanchage; ce cône est abaissé par un ressort à boudin qui assure en même temps l'éloignement de l'armature et de l'électro X; lorsque le courant passe dans l'électro Y, le levier E soulève le cône, dépasse un peu sa base et se trouve arrêté par l'effet de détente du ressort à boudin.

Les caoutchoucs restent fermés jusqu'au moment où un des contacts de la pendule fermera le circuit de l'électro-aimant X destiné au déclanchage.

Pour régler l'appareil, j'introduis dans le brûleur un mélange de cinq volumes de grisou pour quatre-vingt-quinze volumes d'air, et je fais agir les contacts de la pendule destinés à enclancher les caoutchoucs et à faire rougir le fil de platine; ces contacts sont donnés par un couteau qui est placé sur le bord du disque qu'entraîne la minuterie (voir le dessin de la pendule à droite de la figure), il vient buter contre un levier de platine et lui fait parcourir un arc de cercle sur lequel se trouvent incrustés trois contacts de platine: 1, 2, 3.

Le premier, de courte durée, ferme le circuit de la bobine Y et enclanche les caoutchoucs; le second lance le courant dans le fil du brûleur; ce second contact dure quinze secondes, puis le levier met une minute pour atteindre le troisième contact qui fait rougir une seconde fois le même fil pendant le même temps.

Le couteau lâche le levier qui, attiré par le ressort, vient buter contre un arrêt R, il se trouve ainsi revenu à son point de départ.

Au bout de cinq minutes, je détermine la hauteur du mercure dans le manomètre à l'aide d'une échelle millimétrique. En divisant cette quantité par 5, j'obtiens la hauteur correspondant à 1 pour 100 de grisou.

A l'aide d'un appareil très simple — qui figure aussi à l'exposition — je soude trois fils de platine dans le tube du manomètre à des hauteurs représentant exactement 1 pour 100 de grisou.

Pour les appareils destinés à analyser automatiquement le gaz d'éclairage provenant de fuites dans des établissements publics; j'emploie comme

récepteur des indications fournies par l'analyseur, un simple tableau d'hôtel contenant dix cases de 0 à 9.

Chacun des fils de platine du manomètre est relié directement et dans l'ordre voulu avec les bornes au tableau, ce qui nécessite dix fils pour les indications de 1 à 3 pour 100.

Le réglage de l'appareil doit alors être fait avec du gaz d'éclairage.

Dans les salles de spectacle, etc..., il n'est pas nécessaire de tenir compte du nombre de fils qui doit relier l'analyseur avec le récepteur, les distances étant trop peu considérables.

Il n'en est pas de même dans un chantier de mines où il faut absolument prendre en considération les distances et surtout les difficultés d'installation.

C'est pour cette raison que j'ai pourvu mon analyseur destiné aux mines d'un transmetteur et d'un récepteur qui permettent le fonctionnement régulier de douze analyseurs avec un seul fil de ligne.

Voici, en peu de mots, le fonctionnement de ce transmetteur : les neuf fils de platine du manomètre sont reliés dans l'analyseur même avec un nombre égal de plaquettes en platine isolées dans de l'ébonite et disposées en arc de cercle. Au centre de l'arc se trouve une roue à rochet munie de cliquets et portant un contact qui passe d'un plaquette à l'autre lorsque la roue saute d'une dent.

Le mercure du manomètre est en contact permanent avec un des pôles de la pile.

La roue à rochet et un électro-aimant qui agit sur un levier actionnant les cliquets sont en communication avec l'autre pôle de la pile.

Lorsque le mercure du manomètre atteint le premier fil, le circuit de la pile se trouve fermé, l'électro-aimant C attire l'armature de fer doux et le cliquet T fait avancer la roue à rochet d'une dent; le contact B passe sur la seconde plaquette, le circuit se trouve ainsi de nouveau ouvert; le mouvement de l'armature de l'électro C est utilisé pour lancer le courant dans le fil de ligne par l'intermédiaire des deux ressorts en platine H et I.

Lorsque le mercure aura atteint le second fil de platine, le même mouvement se répétera et ainsi de suite.

Au bout de cinq minutes, temps nécessaire pour permettre au produit condensable de se déposer, un second contact, distribué par la pendule, déclanche les caoutchoucs et ramène l'aiguille B au bord de la première plaquette enfermant successivement le circuit dans les bobines X et M.

Et réagissant sur l'armature de ce dernier, il soulèvera les deux cliquets; la roue à rochet devenue libre et sollicitée par le poids P reviendra alors à sa première position arrêtée par le butoir Q.

Le récepteur central est presque identique au transmetteur, mais sa construction est plus simple en ce sens que les trois plaquettes du transmetteur qui servent à distribuer les contacts, sont remplacées par un simple cadran divisé en autant de cases qui indiquent de 1 à 3 pour 100 de grisou.

Ce récepteur porte, en outre, des contacts destinés en cas d'absence ou de distraction, à faire fonctionner une sonnerie d'alarme continue, lorsque la proportion du mélange gazeux aura atteint la limite que l'on ne veut pas dépasser.

Ce récepteur sera placé dans un bureau central, dans le cabinet de l'ingénieur, par exemple, et, de là, il transmettra seul les indications partout où on le jugera nécessaire.

La remise au zéro du récepteur après chaque analyse est opérée automatiquement par l'intermédiaire d'une pendule placée près du récepteur.

J'ai été chargé par la commission allemande du grisou de faire établir quatre analyseurs, qui doivent fonctionner dans une mine de la Prusse Rhénane, qui renferme une quantité considérable de poussière impalpable de charbon; les ingénieurs de cette mine ont reconnu que, dans ces conditions, 4 pour 100 de méthane suffit pour donner un mélange détonant.

Les appareils que je construirai dans ce but doivent indiquer à partir de 2 pour 100 les dixièmes entre 2 et 3 pour 100; pour opérer cette transformation, il suffit de fixer les trois fils de platine dans l'espace compris entre le 2 et le 3 pour 100.

J'indique, en terminant, les dispositions à prendre pour faire fonctionner douze analyseurs, chiffre maximum, pouvant se relier à un seul fil de ligne.

Il suffit pour cela que les pendules des analyseurs avancent de cinq minutes les unes sur les autres. La pendule régulateur du récepteur central opérera la remise au zéro toutes les cinq minutes.

L'ingénieur, en consultant l'heure à la pendule centrale en déduit de suite dans quelle région se trouve l'analyseur qui vient d'envoyer son indication.

M. le Président remercie M. Monnier de son intéressante communication. Au moment où des recherches actives sont faites pour trouver un moyen d'analyse rapide du grisou dans les mines, en vue d'éviter les terribles accidents qui s'y produisent, l'appareil que vient de décrire M. Monnier et qui est son invention, peut rendre d'utiles services.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Démétrius Monnier sur les Unités de mesure des grandeurs électriques.

M. Marché, en l'absence de M. Monnier, donne lecture de cette communication qui avait été préparée pour notre séance-visite à l'Exposition d'électricité consacrée à l'Électrométrie.

La séance au palais de l'Exposition n'ayant pu avoir lieu, la note de M. Monnier a été insérée *in extenso* dans le procès-verbal de la visite.

M. Marché, au cours de cette lecture, présente les observations suivantes :

Dans l'exposé des relations établies entre les grandeurs électriques et du système des unités absolues qui sont employées pour les mesurer, on rencontre, au début, quelques difficultés à en saisir l'ensemble par suite de l'impropriété des termes employés. Le mieux est de ne pas s'y arrêter, et de se familiariser avec les symboles, en suivant des calculs d'application, comme nous avons été forcés de le faire pour la résistance des matériaux, par exemple.

Les désignations d'intensité, de force électro-motrice et de résistance données aux quantités I, E et R, liées par la rèlation de Ohm $I = \frac{E}{R}$ ne sont pas en effet en parfait accord avec les définitions de ces trois quantités.

La *tension* d'un courant par exemple n'est pas mesurée par l'*Intensité* qui représente la quantité d'électricité qui circule dans l'unité de temps, c'est-à-dire le débit, mais par la valeur de E qu'on appelle force électro-motrice et qui est, non une force, mais une différence de force vive, d'énergie, de potentiel.

Quant aux unités absolues dont le choix et la détermination ont été faites de manière à relier les grandeurs électriques aux phénomènes de la mécanique et de la chaleur, on peut ajouter aux définitions données par M. Monnier, quelques indications complémentaires qui permettront de mieux comprendre ce qu'elles représentent.

Le *Ohm* est l'unité de résistance. Avant que sa valeur ait été fixée par l'Association britannique, on se servait pour mesurer la résistance des conducteurs de l'Unité Siemens. Dans les étalons construits par le D[r] Werner Siemens, il prenait pour unité : la résistance d'une colonne de mercure chimiquement pur, pris à la température de 0° centigrade, ayant pour longueur 1 mètre et pour section 1 millimètre carré.

Or, cette unité Siemens diffère peu de l'Ohm. Sa valeur exacte est 0,956 Ohms, c'est-à-dire que le Ohm est la résistance d'une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de 1^m,045 de hauteur.

On sait, d'autre part, que la résistance d'un fil croît proportionnellement à sa longueur et en raison inverse de sa section, et qu'elle varie avec la nature du métal dont il est composé.

La résistance spécifique du mercure étant de 99.74, celle du fer pur est de 9.825, celle du cuivre pur de 1.653; la résistance du fer employé dans les lignes télégraphiques aériennes varie de 11.65 à 13.08, et celle du cuivre ordinaire du commerce varie de 2.30 à 4, elle n'est que de 1.7 à 1.36 pour le cuivre employé dans les conducteurs sous-marins.

La résistance du kilomètre de fil de fer de 4 millimètres de diamètre employé pour les lignes télégraphiques est comprise entre 9.27 et 10.41 Ohms, on admet en moyenne 10; d'où il résulte que le Ohm est représenté approximativement par la résistance de 100 mètres de fil télégraphique de 4 millimètres.

L'unité de force électro-motrice est le *Volt.* Le Volt est assez exactement représenté par la force électro-motrice d'un élément Daniell.

Un élément Bunsen a une force électro-motrice de 1,9 volts.

Quant à l'unité d'intensité, l'*Ampère*, c'est la quantité d'électricité qui circule par seconde dans un courant dont la force électro-motrice est d'un Volt et la résistance d'un Ohm, c'est donc l'intensité d'un courant produit par un élément Daniell dans un circuit formé d'une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et $1^m,045$ de hauteur ou d'un fil télégraphique de 4 millimètres de diamètre et de 100 mètres de longueur.

Dans le système d'unités absolues adoptées par le Congrès international, on arrive à une relation très simple pour l'évaluation du travail produit par un courant en kilogrammètres ou en chevaux. Si, en effet, dans la valeur du travail $W = \frac{EI}{g}$, E est exprimé en Volts et I en Ampères, g étant l'accélération de la pesanteur 9.81, W est exprimé en kilogrammètres.

Ainsi la machine Gramme type C, expérimentée à Chatham, marchant à 1200 tours par minute, produit un courant dont l'intensité est de 81 Ampères et la force électro-motrice de 69.9 Volts. Le travail correspondant est de :

$$\frac{81 \times 69.9}{9.81} = 577 \text{ kilogrammètres ou } 7.7 \text{ chevaux.}$$

M. le Président remercie M. Monnier du travail intéressant qu'il avait préparé pour la Société et M. Marché de l'analyse qu'il vient d'en présenter.

Les membres admis dans la présente séance sont : MM. Andrade, Gibault, Bouquié, Gotendorf, Haillot, Monnier, Philipson de Prandières et de Vasconcellos.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

SÉANCES-VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

PROCÈS-VERBAL DE LA 3e SÉANCE-VISITE

tenue le Vendredi 7 Octobre 1881

dans la Salle du Théâtre (Palais de l'Exposition de l'Électricité)

PRÉSIDENCE de M. Ernest MARCHÉ, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à dix heures du matin.

M. LE PRÉSIDENT expose que cette séance sera consacrée, non à des questions d'électricité, mais à l'étude des appareils qui fournissent la force motrice dans le palais. Toutes les questions industrielles devant intéresser l'ingénieur, à titre égal, nous ne pouvons pas passer à côté de l'exposition remarquable de générateurs et de moteurs à vapeur et à gaz, qui forme la classe 14, sans en faire l'objet d'une étude attentive. La parole est donnée à M. Parent qui a bien voulu se charger d'exposer l'ensemble des mesures prises pour fournir la force motrice nécessaire aux machines magnéto et dynamo-électriques qui fonctionnent dans le palais de l'Industrie, et qui s'y transforme principalement en lumière.

M. PARENT. J'ai été prévenu, il y a quelques jours seulement, qu'en ma qualité de secrétaire du syndicat formé par les sociétés d'éclairage électrique, je devais avoir l'honneur de décrire aujourd'hui devant vous, l'ensemble de l'installation mécanique actionnant les nombreuses machines électriques de types si différents réunies dans cette enceinte. Il ne me sera donc pas possible, à mon grand regret, de développer cette question comme vous vous y attendiez, sans doute, et je ne pourrai que vous en tracer les principaux traits, en me réservant d'ailleurs d'entrer cet après-midi dans plus de détails lorsque nous examinerons ensemble sur place cette installation.

Je suis heureux de profiter, dès à présent, de l'occasion qui m'est offerte pour remercier personnellement au nom du syndicat de notre exposition, dont notre distingué collègue, M. Hippolyte Fontaine, est le très actif

Président, l'Administration supérieure, les constructeurs de chaudières, de machines et d'appareils si divers, nécessaires à l'entraînement des machines électriques, du bienveillant et empressé concours, que tous, sans distinction, nous ont gracieusement offert. — Je dois même une mention spéciale à la Compagnie française des moteurs à gaz qui a répondu a notre appel avec tant d'empressement. — Vous n'ignorez pas, en effet, Messieurs, l'extension industrielle prise depuis quelques années par ces moteurs dont les applications deviennent de jour en jour plus considérables. Au début on les envisageait comme de petits agents domestiques à peine utilisables pour des forces médiocres. Vous en verrez ce soir de la force de 15, 20, 25 et même 50 chevaux, qui peuvent lutter avantageusement avec les moteurs à vapeur dans certaines circonstances, surtout lorsqu'il s'agit d'éclairage par l'électricité.

Nous ne pouvons faire ici une comparaison approfondie des différents systèmes qui passeront sous nos yeux, car nous devancerions ainsi les travaux du Jury, mais nous espérons qu'il voudra profiter des notes et des renseignements circonstanciés que le syndicat lui fournira avec le plus grand plaisir.

D'ailleurs, la disposition d'ensemble ne se prête pas aussi facilement que nous l'aurions voulu, à des expériences comparatives. Au moment de l'installation il a fallu, en effet, tenir compte des conséquences du groupement des diverses machines électriques à actionner, de la force motrice nécessaire à chaque section, de l'emplacement qui devait être réservé à ces machines et des vitesses spéciales à chacune d'elles.

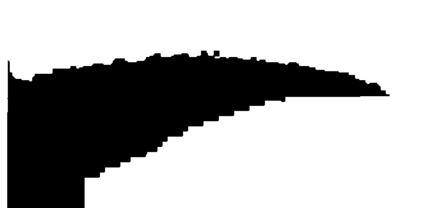
C'est ainsi qu'après un examen approfondi il a fallu renoncer à l'emploi cependant tout naturellement indiqué, de transmissions intermédiaires spéciales avec débrayage, qui auraient exigé un emplacement trop considérable, et se résigner à faire usage d'une transmission unique par moteur.

Pour ces raisons et pour d'autres encore, vous comprendrez toute ma réserve, je ne donnerai aucun chiffre de nature à établir la supériorité de tel ou tel système.

Les constructeurs mécaniciens ont parfaitement compris qu'avec l'électricité, un nouveau champ d'exploitation s'ouvrait devant eux, et qu'il était de leur intérêt de contribuer à l'éclat de l'exposition; aussi, leurs installations sont-elles dignes de fixer l'attention des ingénieurs les plus habiles.

Je viens de dire, Messieurs, que l'électricité offrait un nouveau champ aux constructeurs; permettez-moi de vous citer un exemple à l'appui de mon assertion :

La Compagnie générale d'électricité, dont les foyers, au nombre de plus de 3,000, sont répandus sur tout le globe, emploie pour actionner ses machines, le chiffre de 2,000 chevaux effectifs. — On peut juger par ce seul exemple de l'importance des débouchés que la lumière électrique offre à l'industrie mécanique.



Notre exposition doit donc être considérée, non pas comme une lutte ouverte seulement entre les différents systèmes de machines électriques, mais aussi entre les moteurs de différents types, dont tout à l'heure nous pourrons examiner les qualités spéciales et même entre les divers accessoires qui contribuent à l'ensemble d'une installation, tels que transmissions, courroies, graisseurs, régulateurs de pression, détendeurs de vapeur, appareils de sûreté, etc., en un mot tout ce qui se rattache à la production régulière et économique de la force motrice destinée à actionner les machines électriques.

Le choix qui a été fait parmi les nombreux systèmes qui se sont présentés à nous, est déjà un sûr garant de la perfection des machines qui sont exposées. Aussi peuvent-elles être considérées presque toutes comme des types de premier ordre.

La force motrice mise par le syndicat à la disposition des sociétés chargées de l'éclairage général de l'exposition et de l'éclairage particulier à chaque exposant, représente au total environ 900 chevaux, dont 150 sont produits par les moteurs à gaz, et 750 par les moteurs à vapeur.

Les moteurs à gaz fournis par la Compagnie française, sont au nombre de neuf, variant de 2 à 50 chevaux.

Je n'en parlerai pas davantage, puisque M. Arson doit prendre la parole après moi.

Les moteurs à vapeur ont été fournis par les constructeurs ci-après :

MM.	Carels frères	200	chevaux
	Société de Pantin	150	»
	Cail-Halot	60	»
	Farcot	60	»
	Chalihny et Guyo Sionnest	60	»
	Boulet et Cie	50	»
	De Quillacq	40	»
	Olry et Granddemange	30	»
	Varral, Elwel et Liddleton	30	»
	Pilter	25	»
	Tangye	20	»
	Divers	25	»
	Total	750	chevaux

La vapeur prise dans les générateurs à une pression de 7 kilogrammes par centimètre carré, est distribuée aux différentes machines, au moyen d'une conduite générale en fer, régnant au-dessus des moteurs. —Cette conduite est fixée aux colonnes par des colliers spéciaux permettant la dilatation.

On a dû prendre cette précaution parce que la marche journalière n'étant que de quelques heures, la vapeur ne reste pas en pression continuelle-

ment dans les tuyaux; il en résulte des différences de dilatation qui eussent fait sauter les joints.

On a intercalé sur les conduites secondaires d'amenée de vapeur de certaines machines, des appareils qui permettent à la vapeur de se détendre à la pression convenant au régime de la machine.

La condensation dans les conduites de vapeur est combattue par l'emploi de trois systèmes d'enveloppes constitués l'un par le liège, les deux autres par un mastic calorifuge différent.

Les deux extrémités de la conduite générale sont purgées automatiquement par des appareils Chrétien.

L'eau d'alimentation est de l'eau de Seine; elle est envoyée dans les chaudières au moyen de petits chevaux alimentaires, d'alimentateurs automoteurs, et, en cas de mauvais fonctionnement de ces derniers, par des injecteurs Giffard, dont nous n'avons pas eu encore à faire usage.

Des compteurs d'eau spéciaux de divers systèmes permettent d'enregistrer la vaporisation des chaudières que l'on peut contrôler d'ailleurs par l'emploi de cuves jaugées, installées en prévision des expériences de consommation.

L'eau de condensation fournie par la Dhuys est évacuée secondairement dans les égouts du palais. Elle est mesurée à son passage par des compteurs installés par la Compagnie parisienne des eaux.

Enfin, l'évacuation des produits de la combustion se fait par une cheminée en briques de 35 mètres de hauteur adossée au côté sud du palais, son diamètre intérieur dans le haut est de $1^m,500$.

Cet exposé général terminé nous pouvons procéder à l'examen de détail de l'installation mécanique.

. . . .

Générateurs fournissant la vapeur aux machines de l'exposition

Le groupe de générateurs de vapeur, dont nous sommes très satisfaits, a été fourni par MM. de Naeyer et Cie.

Je ne parle ici que des appareils qui ont servi au syndicat formé par les sociétés d'éclairage électrique. Ils représentent d'ailleurs 850 à 900 chevaux, tandis que les autres générateurs réunis produisent seulement de 400 à 500 chevaux.

Les générateurs de Naeyer se composent, comme l'on sait, de tubes parallèles disposés en quinconces, et inclinés d'une dizaine de degrés vers l'arrière. A leurs extrémités, ces tubes sont réunis deux par deux, horizontalement, au moyen de boîtes en fonte rectangulaires. Chacune de ces boîtes est mise en communication avec celle qui la surmonte ; de cette façon la colonne formée par leur superposition, constitue pour les tubes correspondants, une sorte de récipient commun.

Le nombre de ces éléments doubles, verticaux, varie avec l'importance de l'appareil.

Les deux têtes de tubes sont emmanchées à joint conique, dans une boîte en fonte et maintenues par un bord rabattu. A l'autre extrémité des tubes, une boîte de communication semblable est attachée par l'intermédiaire d'une bague en fer. Par suite de la position alternée des tubes, ces boîtes sont inclinées en sens inverse; elles portent, venus de fonte avec elles, des petits godets qui reçoivent un étrier serré par un boulon fixé sur la boîte de raccord.

A l'arrière, le plan formé par les boîtes de jonction, vient s'appuyer sur le conduit transversal, auquel se relient les éléments verticaux.

A l'une des extrémités de ce collecteur est adaptée l'alimentation, à l'autre la vidange.

Je n'insiste pas davantage, le type de chaudière de Naeyer étant maintenant connu de tous nos collègues.

Le générateur n° 1, celui que nous rencontrerons le premier dans notre visite, a été spécialement étudié pour une machine marine, système Compound. La maçonnerie est ici remplacée par des tubes bouilleurs juxtaposés, formant les parois du foyer. Cette disposition a le double avantage d'éviter un poids considérable et d'augmenter la surface de chauffe. Une garniture en tôle entoure le générateur.

La surface de chauffe est de 110 mètres carrés, vaporisant 1,400 litres d'eau à l'heure. La force est de 70 chevaux.

Les générateurs n°s 2, 3 et 4 ne présentent aucun caractère particulier.

Le n° 5 est un type à petit volume portant 2 séries de tubes surchauffeurs et sans réservoirs de vapeur. La surface de chauffe est de 62 mètres. Son volume intérieur de 1,500 litres. J'appelle sur ce générateur, qui est de 3e catégorie, l'attention des spécialistes. Il présente un grand intérêt pour les installations à Paris, où l'on ne peut placer que des appareils d'une catégorie déterminée.

Ces 5 générateurs sont timbrés à 10 kilogrammes, et fournissent de la vapeur à 7 kil. 1/2.

En résumé, la surface de chauffe totale s'élève à 789 mètres carrés, pouvant produire 9,400 kilogrammes d'eau vaporisée par heure.

Machine Carels frères.

Jusqu'en 1878, toutes les machines Sulzer ont été construites simples, c'est-à-dire à un cylindre. C'est cette année-là que MM. Sulzer frères ont construit la première machine dite Woolf avec deux cylindres, l'un derrière l'autre sur le même bâti. Nous l'avons tous remarqué à l'Exposition de 1878.

Dans la machine Carels, que nous avons à examiner, c'est le dispositif Compound qui a prévalu.

Nous y trouvons l'avantage d'une grande régularité de marche, due

à la suppression des points morts, ce qui est essentiel pour obtenir un bon éclairage.

En outre, on dispose de deux machines pour ainsi dire indépendantes, de sorte que, si un accident survient au petit cylindre, on a encore à sa disposition la machine à grand cylindre.

Ce sont surtout ces deux considérations qui ont décidé la Société générale d'éclairage électrique à employer la machine Sulzer-Compound.

J'ai tiré quelques diagrammes que nous pourrons examiner ce soir à loisir en étudiant les parties intéressantes de cette machine.

Machine de la Société de Pantin.

La machine Compound de la Société de Pantin est, je crois, la plus forte qui ait été construite jusqu'ici par cette maison. Le moteur présenté en 1878, était de la force de 125 chevaux, tandis que celui qui est ici et qui est du même type bien connu, développe facilement 150 chevaux.

On lui a même fait donner à certains moments jusqu'à 175 et même 180 chevaux.

Machine Farcot.

La machine à 4 tiroirs de M. Farcot, tout en conservant les avantages que réalisait le type exposé en 1878, présente certains perfectionnements qui doivent être signalés.

C'est ainsi que l'organe du déclanchement qui agit pour les grandes introductions ne fonctionne pas constamment : il n'est mis en mouvement que lorsque la première came, celle des petites introductions, n'a pas suffi pour déclancher, de sorte que, dans la marche ordinaire ou habituelle, le doigt intérieur se transporte librement dans l'espace sans subir ou produire aucun frottement sur la bosse ou sur le flanc de sa came.

Nous devons ajouter qu'une disposition spéciale de l'une des cames empêche tout emportement de la machine en cas d'accident au régulateur. Si, en effet, le régulateur s'arrête pour une raison quelconque, la machine au lieu de s'emporter s'arrête également.

Nous n'avons pas à faire l'éloge de la maison Farcot, qui reste toujours au premier rang.

Le moteur qui fonctionne à l'Exposition est d'une construction extrêmement soignée, et je suis convaincu, qu'après expériences faites, on trouverait que de tous les moteurs français, la machine Farcot est celle qui consomme le moins de vapeur.

Machine Chaligny et Guyot Sionnest.

Cette machine, également du type Compound, demi fixe, est très simple et facilement transportable. Elle offre plus qu'aucune autre cet avantage

d'être facilement entretenue et conduite par un chauffeur quelconque, le premier venu, et comme dans nos installations le chauffeur est plus souvent livré à lui-même, c'est un avantage que nous apprécions beaucoup.

Sa marche est d'ailleurs très régulière, et en y ajoutant un bon condenseur on obtiendra une excellente machine industrielle. Elle est susceptible de développer une force double de celle qui est annoncée par les constructeurs. Cette grande élasticité est très appréciée pour les installations d'éclairage électrique.

Machine Boulet et Cie.

Le type de machine Compound, demi fixe, créé par la maison J. Boulet et Cie, est à condensation.

La chaudière est du type Thomas et Laurens, à foyer et faisceau tubulaires amovibles, qu'il est inutile de décrire ici.

Comme la précédente, cette machine est facilement transportable et elle nous paraît devoir rendre de très grands services dans les installations où l'emploi de machines fixes et de générateurs isolés n'est pas absolument indispensable.

Machine de Quillacq.

Nous trouverons aussi une petite machine Sulzer, très soignée, construite par les établissements de Quillacq.

Cette machine se fait remarquer par un mouvement très régulier.

Machine Olry et Grandemange.

La machine Olry et Grandemange mérite également une mention spéciale pour le bon agencement de ses organes si simples et si rustiques, l'accès facile de tous les joints, la forme si bien étudiée de son bâti.

Cette machine n'a pas été arrêtée un seul instant depuis sa mise en marche.

Machine Varrall, Elwel et Middleton.

Vous avez peut-être remarqué déjà près de la machine Boulet, un type qui se distingue des autres, c'est celui de la maison Varrall, Elwel et Middleton.

Ce moteur, qui alimente 20 foyers Jablockoff, actionne directement une machine Gramme. Sans transmission intermédiaire, nous l'avons fait tourner jusqu'à 1,200 tours.

La consommation de vapeur est peut-être inférieure à celle de la machine Brotherood.

C'est un type que nous nous proposons d'expérimenter très complète-

ment, bien que, pour mon compte personnel, je préfère obtenir ces grandes vitesses à l'aide d'une transmission intermédiaire.

Nous examinerons sur place les autres machines qui présentent quelques détails intéressants. Je ne m'y arrête donc pas davantage et j'arrive aux accessoires que je vous ai nommés en commençant.

J'ai parlé d'un régulateur automatique de pression. S'il n'est pas employé davantage, c'est parce qu'il n'est pas connu.

Comme nous avions à notre disposition des générateurs donnant des pressions relativement considérables, nous avons dû chercher un appareil qui permît de régler la pression dans les machines.

L'appareil de M. Legat a rempli absolument cette condition. Installé sur la machine Farcot, il a maintenu très régulièrement à 5 kilogrammes la pression de la vapeur détendue à son entrée dans le cylindre, et cela quel qu'en soit le débit et quelle que soit la pression dans le générateur [1].

Je vous ai aussi parlé du purgeur automatique Chrétien. Cet appareil que nous examinerons ce soir retiendra certainement votre attention : il nous a rendu de grands services. Nous rencontrerons encore les compteurs d'eau qui ont été prêtés au syndicat pour mesurer la quantité d'eau vaporisée. Aussi je passe rapidement après avoir cité spécialement le compteur Kemiedy.

Nous examinerons aussi les six sortes de courroies que nous avons appliquées : en cuir ordinaire, cuir sur champ, coton, crin, caoutchouc et courroies métalliques.

Ces dernières sont installées sur des machines dont les effets de dilatation sont à craindre. Leur largeur est sensiblement réduite et leur prix est abordable.

Les courroies de coton sont peu sujettes aux variations de température, elles ne se coïncent pas et sont très suffisantes pour les petites forces.

Les courroies de caoutchouc n'ont pas donné les résultats que nous en espérions.

Les petites courroies de crin, au contraire, nous ont donné toute satisfaction. Ce sont celles qui coûtent le moins cher.

Dans certaines installations d'éclairage électrique, elles fonctionnent depuis deux ou trois ans, sans qu'on ait jamais eu besoin de les retendre.

Pour les petits efforts elles valent le cuir, et comme elles coûtent moitié moins cher, je crois qu'elles sont appelées à un grand succès.

Nous employons plusieurs sortes d'huiles à graisser, parmi lesquelles je citerai l'oléonaphte, la valvoline et la lubroléine.

Chacun de ces produits a été expérimenté et nous avons reconnu que chacun d'eux devait être spécialisé, car tel d'entre eux qui convient aux

1. Le tachymètre Buss est un appareil très sensible et d'une grande précision. Vous le verrez installé sur nos principales machines ; il nous a été d'un grand secours.

transmissions ou aux machines à vapeur, doit être remplacé par un autre, lorsqu'il s'agit de lubrifier les machines électriques.

J'ai terminé, Messieurs, cet exposé trop sommaire ; j'omets certainement des points intéressants, mais je serai tenu à moins de réserve ce soir, et je pourrai entrer dans plus de détails en examinant, sur place, les différents appareils que nous venons de passer rapidement en revue.

M. le Président demande à M. Parent si le chiffre indiqué par lui pour la totalité de la force motrice mise à la disposition des exposants, soit 900 chevaux, comprend les sections étrangères et si ce même chiffre correspond à la force nominale des machines ou à leur force effective.

M. Parent répond qu'en comprenant la machine Édison qui vient d'arriver, on peut évaluer à 500 chevaux la force motrice produite dans les sections étrangères, en dehors de celle indiquée précédemment et que pour un certain nombre de machines, on doit reconnaître qu'elles ont à fournir un travail supérieur à leur force nominale.

M. le Président en conclut qu'on peut admettre, sans exagération, que le travail moteur développé, dans le palais, quand tous les appareils fonctionnent, est d'environ 1,600 chevaux.

Il remercie M. Parent de son intéressant exposé et donne la parole à M. Arson qui doit entretenir la Société des moteurs à gaz.

M. Arson. Messieurs, je suis étonné moi-même d'avoir à parler dans l'exposition de l'électricité sur le rôle des machines à gaz, car c'est exclusivement des machines à gaz que j'ai à vous entretenir. Ce soin revenait légitimement à M. Lefèvre, puisque c'est lui qui s'occupe de la fabrication de ces machines, construites par le Compagnie parisienne ; mais M. Lefèvre est absent et je dois le suppléer. C'est vous, Messieurs, qui y perdrez.

Le gaz n'est pas entré à l'exposition de l'électricité par la grande porte : il a pris la porte de derrière. Il est venu pour faire tourner les machines, chargées de produire l'électricité et l'on n'est pas peu surpris de voir qu'il engendre plus fort que lui-même. Toujours est-il qu'il est ici, et que j'ai à vous dire sous quelle forme et dans quelles conditions il s'emploie dans les machines motrices.

C'est à M. Lenoir que la machine à gaz est due : c'est en janvier 1860 que la machine Lenoir a fait son apparition, et le public ne lui a pas, pendant bien longtemps, fait l'accueil dont elle avait besoin pour se répandre.

La Compagnie parisienne, comprenant l'utilité de cette machine, qui était pour elle un moyen de placement du gaz, et envisageant les grands avantages que cette machine peut offrir aux abonnés, parce qu'elle se passe de chaudière, la Compagnie parisienne, dis-je, a soutenu la machine à gaz pendant longtemps, avec des sacrifices réels, considérables. Enfin elle a atteint le but de ses efforts. La machine à gaz est arrivée à lutter d'une manière sérieuse avec les machines à vapeur ; mais elle n'est

pas parvenue aux limites du possible. Elle consomme encore un mètre cube de gaz par force de cheval et par heure, et coûte par conséquent à Paris 30 centimes. Les propriétaires de machines à gaz reprochent aux compagnies de ne pas leur donner le gaz à un prix exceptionnellement bas. Ils disent : Maintenez le prix du gaz pour les personnes qui ne le consomment que pour l'éclairage ; mais pour nous qui nous en servons continuellement même pendant le jour et qui apportons ainsi à vos affaires un élément précieux de recettes, faites-nous une faveur particulière. Il est très difficile d'introduire dans la vente d'une même matière deux prix différents. Et puis, il faut considérer qu'on n'est pas arrivé aux dernières limites d'économie auxquelles ces machines peuvent atteindre.

En effet, la machine Lenoir consommait deux mètres cubes de gaz par cheval et par heure ; or, voilà une nouvelle machine qui arrive et qui ne consomme plus qu'un mètre cube de gaz. Vous voyez donc qu'il eût été contraire aux intérêts de la Compagnie de baser trop vite un prix spécial sur une dépense qui se trouve déjà réduite et qui le sera encore dans l'avenir. Permettez-moi d'exprimer cette opinion tout à fait personnelle; mais enfin, quand on cherche la quantité de travail réalisée par la combustion d'un mètre cube de gaz, avec une compression préalable du gaz et de l'air à 10 atmosphères, on trouve qu'on pourrait réduire la dépense d'un cheval-vapeur à 140 litres de gaz, par conséquent au prix de 0 fr.04.

Les mécaniciens doivent donc améliorer encore les machines à gaz avant d'être fondés à demander l'abaissement du prix de la matière consommée.

Aux machines de Lenoir, ont succédé les machines Otto et Langen, qui affectaient une forme absolument inacceptable, mais qui sont venues démontrer que la consommation de gaz n'avait pas besoin d'être portée à deux mètres cubes, et qui faisaient descendre cette consommation à un mètre cube. Mais les formes de la machine Otto et Langen étaient mauvaises au point de vue mécanique : elles ont été modifiées dans la machine Otto. Vous verrez cette machine tout à l'heure. Il y en a un bel exemple de la puissance de 50 chevaux.

Le principe sur lequel reposent toutes ces constructions a toujours été celui d'une explosion, plus ou moins complète, plus ou moins instantanée, mais enfin une explosion. Il me semble qu'on ne peut pas appeler autrement ce qui se passe, quand on mélange une certaine quantité de gaz avec la quantité d'air nécessaire, et qu'on allume le tout par une étincelle. On a beau produire des filets de gaz qui s'interposent entre les filets d'air de façon à ce que la combustion ne soit pas instantanée, il n'en est pas moins vrai que c'est une explosion, puisqu'elle a dû être réalisée avant la course complète du cylindre. Tous les inventeurs se sont appliqués à dire que le mélange ne devait pas être parfait, afin que la combustion fût retardée et l'explosion diminuée, mais cependant elle doit être accomplie pendant la durée très courte d'une demi-révolution de la machine. Tous les inventeurs ont abordé la combustion du gaz dans

le cylindre lui-même. C'est là un caractère qui se poursuit dans la construction des machines à gaz, depuis Lenoir, caractère extrêmement intéressant qui fait de la machine à gaz une machine très hardie, car il semble que les inventeurs, s'ils avaient procédé sous l'influence de la mécanique pratique, n'auraient pas oser aborder une solution comme celle-là : introduire un mélange détonant dans un cylindre récepteur et l'y enflammer! Cette solution aurait effrayé un mécanicien ordinaire, elle n'a pas effrayé Lenoir.

La Compagnie parisienne voyant là une machine intéressante pour elle et pour le public, avait fait longtemps, vous ai-je dit, de grands sacrifices pour en entretenir la fabrication. Vous me permettrez de lui en rendre hommage.

Il existe en France et en Angleterre des machines diverses. La machine à gaz est née, elle est vivante, elle ne mourra certainement plus. Vous verrez en bas la principale machine, qui est due à Otto. Je n'ai pas grand'chose à vous en dire ici; il est assez difficile de décrire une machine et de la faire comprendre quand on ne l'a pas sous les yeux. La machine Otto que nous verrons dans l'exposition a une force de 50 chevaux. Elle est composée de deux machines accouplées, chacune d'elle ne fait que 25 chevaux. La difficulté n'a pas été de faire une machine de 50 chevaux, mais de donner la régularité voulue aux mouvements qui devaient en résulter.

Dans cette machine il n'y a qu'un seul cylindre. Le premier coup de piston fait appel du mélange détonant; le second coup en fait la compression, à trois atmosphères environ; c'est sous cet état qu'arrive l'inflammation qui produit son effet utile dans le troisième coup; le quatrième coup sert à l'expulsion du mélange qui a fait explosion.

Malgré cette faible proportion du mouvement consacrée au travail utile, la machine Otto est certainement la meilleure des machines à gaz, faites jusqu'à présent. Il paraît qu'il faut attribuer ce résultat à ce que, grâce à cette disposition, tout se passant dans un seul cylindre, M. Otto a pu supprimer toutes les charges additionnelles qui seraient nécessaires sans cela, telles que cylindres de compression, etc. Il y a peut-être aussi une autre considération : c'est que dans ce même cylindre les phénomènes de variations de température se trouvent un peu diminués, puisqu'il n'y a qu'un quart de tour pour la production de la chaleur. Je vous livre cette considération-là pour ce qu'elle vaut. Il y a dans cette machine un régulateur intéressant. Un appareil à pendule ordinaire fait marcher un levier qui peut fermer complètement le passage du gaz et en empêcher l'introduction dans le cylindre. Cette fermeture est commandée par une came, lorsque la came se présente les choses fonctionnent comme elles le doivent; mais aussitôt que la machine change de vitesse, qu'elle va trop vite, la came se dérobe, le levier tombe brusquement et ferme l'entrée du gaz.

Il y a bien encore la dépense de compression préalable de l'air, mais elle

se restitue dans le coup de piston suivant et il y a plus de dépense de la matière coûteuse que devrait produire l'inflammation.

Voici la raison de ce mode de régulation :

Les machines à gaz ne fonctionnent qu'à la condition expresse d'avoir une proportion déterminée de gaz par rapport à l'air. Cette proportion varie de 7 à 12 pour 100. S'il n'y a pas 7 pour 100, il n'y a pas d'inflammation, s'il y en a plus de 12, il n'y a pas non plus d'explosion. Vous voyez donc que la consommation ne peut s'écarter de ces proportions et qu'il n'était pas possible de produire la régulation par la réduction de l'introduction du gaz.

Ce mode de régulation, en effet, n'a pas pu donner satisfaction à l'inventeur, et il a recouru à un autre mode : il a supprimé complètement l'entrée du gaz pour une détonation, de sorte que la machine exécute deux tours, ne faisant autre chose que de comprimer l'air, et par conséquent trouvant une raison de ralentissement de la machine, puisque c'est un travail négatif.

Cette disposition est bien imaginée, elle économise du gaz. Jusqu'à présent, je la croyais due à M. Otto ; mais hier on m'a assuré qu'un jugement de tribunal, prononcé en Angleterre, l'avait fait tomber dans le domaine public.

Il y a dans l'exposition trois sortes de machines : celle de M. Otto, celle de Clerk, et celle de M. Ravel qui va vous en exposer lui-même la construction.

La machine de Clerk fonctionne comme la machine Otto, avec compression préalable et inflammation dans le cylindre; mais elle fait cette compression dans un cylindre additionnel, avec cylindre et piston séparés. Les renseignements me manquent un peu sur cette machine. J'ai été la voir et voici la note que j'ai prise sur les conditions dans lesquelles elle fonctionne. On m'a dit tout à l'heure que M. Chapman me laissait le soin de vous la décrire, je dois lui donner satisfaction.

L'air et le gaz sont appelés simultanément dans le cylindre additionnel pendant un tiers de sa course, puis alors l'orifice du gaz est fermé et la course s'achève en n'appelant plus que de l'air seul.

L'inventeur suppose que ces gaz sont ensuite refoulés dans le cylindre récepteur, avec cet ordre de superposition. Les mouvements sont combinés de telle sorte que le cylindre récepteur expulse à son tour ce volume d'air et ne conserve que le mélange détonant qu'il comprime pendant une fin de course.

Cette disposition a pour intention de refroidir à chaque tour le cylindre récepteur.

Vous voyez que le succès de la machine ne sera acquis qu'autant que le mélange fait dans le premier cylindre sans séparation matérielle, ne s'étendra pas; qu'une première fraction du mélange restera mélange détonant, et que les deux tiers de la cylindrée remplis par l'air pur resteront air pur, puis enfin que le tout s'en ira dans le cylindre moteur con-

servant la même distinction. Il y a là raison à quelque inquiétude; on peut craindre que les tourbillonnements auxquels sont soumis les gaz ne produisent ce mélange plus que ne suppose l'auteur, et que les phénomènes auxquels il a espéré donner lieu ne soient acquis aux dépens d'une perte sèche d'une partie du mélange détonant.

Vous verrez fonctionner cette machine dans l'exposition.

Une seconde machine du même système doit arriver prochainement, et pourra être livrée à l'appréciation des commissions.

M. Chapman m'a affirmé qu'elle consomme moins de gaz que la machine Otto, laquelle ainsi que je l'ai dit, consomme un mètre cube de gaz par heure et par cheval.

Depuis un grand nombre d'années la machine Otto fonctionne, c'est un fait acquis, que je ne tiens pas de M. Otto (je n'ai pas l'honneur de le connaître), mais c'est un fait qui est à la connaissance de tout le monde.

Les machines à gaz vous seront complètement connues, lorsque vous aurez des renseignements sur la machine que je ne vous ai pas expliquée, ce qui va être fait par mon successeur, auquel je laisse la parole.

M. Ravel a la parole pour décrire le moteur à gaz de son système qui est à l'exposition.

Ce moteur est à simple effet et le mélange détonant n'est soumis à aucune compression préalable. A chaque tour de l'arbre moteur, correspond une introduction et une inflammation du mélange air et gaz et, par conséquent, une impulsion utile à chaque révolution. Il s'ensuit une grande régularité dans la marche.

Ce moteur se compose d'un cylindre vertical oscillant sur un *axe plein* reposant sur le socle de la machine.

La partie supérieure du cylindre porte un guide dans lequel glisse la tige du piston qui actionne directement l'arbre coudé sur lequel sont calés le volant et la poulie motrice.

A l'avant se trouve une roue hélicoïdale actionnant un régulateur à boules, lequel commande une valve placée sur le tuyau d'arrivée du gaz.

La partie postérieure du cylindre présente une surface plane dans laquelle on a pratiqué une ouverture longitudinale. Cette partie plane par suite du mouvement oscillatoire du cylindre, glisse sur une plaque en bronze phosphorée fixée sur le bâti au moyen d'écrous molletés reposant sur des rondelles de cuir, afin de se mettre à l'abri des effets de la dilatation. Cette plaque est également percée d'une ouverture allongée communiquant avec l'échappement.

Les choses sont disposées de telle sorte que les orifices du cylindre et de l'échappement se rencontrent lors de la descente du piston, c'est-à-dire, précisément comme on le verra tout à l'heure, au moment où les gaz pro-

venant de l'explosion du mélange viennent de produire leur effet sur le piston et qu'ils doivent être refoulés en dehors.

A l'avant se trouve le mécanisme de distribution composé d'un tiroir en bronze, d'une contre-plaque et d'un obturateur.

La contre-plaque présente deux ouvertures servant l'une à l'arrivée de l'air, l'autre à l'arrivée du gaz. Ces deux fluides pénètrent dans le tiroir: le premier par une ouverture rectangulaire, le second par une série de petits tubes de différentes hauteurs; ils se rencontrent alors et passent ensemble par les orifices circulaires pratiqués dans la paroi verticale du tiroir; ils sont ensuite obligés de redescendre, de traverser une sorte de grille, et de passer enfin par un dernier orifice aplati pour se rendre à la partie inférieure du cylindre.

Cette disposition a pour but de mélanger intimement les deux fluides.

Dans le bas du tiroir se trouve une cavité en regard d'un bec de gaz placé dans la contre-plaque.

A chaque explosion, ce bec s'éteint; il se rallume ensuite quand le tiroir revient à sa position primitive, par le contact d'un second bec restant constamment allumé pendant la marche.

Quant à l'obturateur, son but est de livrer passage, à temps voulu, à l'air destiné au mélange et à maintenir la contre-plaque appuyée contre le tiroir.

Il est d'ailleurs fixé au bâti par six écrous molletés munis de rondelles de cuir pour parer aux effets de la dilatation.

Le mouvement peut être donné au tiroir de plusieurs manières.

Dans l'une, et c'est la disposition ancienne, une came convenablement étudiée, calée sur l'arbre moteur, tourne dans un cadre qui commande le tiroir.

On comprend que l'on peut donner à la came une configuration telle que les mouvements du tiroir soient brusques, c'est en effet le but vers lequel on doit tendre.

De la nécessité d'ouvrir et de fermer rapidement l'admission, il résulte pour l'ensemble des mouvements saccadés, et l'on a modifié très heureusement cette disposition par l'emploi d'un excentrique circulaire.

Le mouvement du tiroir ne pouvait pas être produit directement par l'excentrique à cause du mouvement beaucoup trop lent de cet organe.

Voici comment on a opéré :

Sur l'arbre moteur on a calé un excentrique dans une position oblique, on l'a muni de deux taquets.

Le tiroir porte un levier pouvant osciller autour d'un point fixé au bâti.

Le fonctionnement de l'appareil est alors des plus simples.

Supposons le piston à fond de course, l'admission commence, le cylindre s'incline de droite à gauche, le mélange d'air et de gaz est aspiré par le piston pendant 1/4 de sa course.

Or, pendant le mouvement d'oscillation du cylindre, le tiroir et le levier coudés ont été entraînés dans le même sens que le cylindre, c'est-à-dire de droite à gauche, l'extrémité du levier tend donc à s'abaisser.

Mais au moment où la quantité de gaz et d'air est complètement aspirée le taquet de l'excentrique rencontre l'extrémité du levier et ramène le tiroir vers la droite en fermant l'admission.

La flamme du bec de gaz placé à l'intérieur de la contre-plaque enflamme le mélange, ce qui détermine une certaine pression sous le piston.

Or le mélange détonant doit avoir, au moment de son inflammation, une tension égale à celle de l'atmosphère.

Si les orifices du tiroir étaient fermés au moment de la mise en feu, il en résulterait une dépression du mélange, puisque pendant le temps qu'aurait mis le tiroir à monter, le piston aurait également parcouru quelques centimètres de sa course.

Pour éviter ce grave inconvénient, il faut donc que l'inflammation se produise pendant que l'introduction du mélange se continue.

Les orifices qui livrent passage à l'air et au gaz doivent rester ouverts pendant le temps que le feu met à se propager dans la masse gazeuse contenue sous le piston. Il faut donc que le tiroir soit animé d'un mouvement rapide, sans cela il en résulterait des explosions à l'intérieur et par suite une perturbation dans la marche de la machine.

Au moment où le piston descend, l'échappement s'ouvre, les produits de la combustion sont refoulés au dehors, puis le taquet supérieur de la barre d'excentrique rencontre à son tour l'extrémité du levier coudé et ramène le tiroir à sa position initiale.

Le mouvement se continue, les phénomènes se passant dans le même ordre.

On remarquera sur le côté droit de la machine une poche en caoutchouc servant de compensateur et maintenant immobile la flamme des becs qui pourraient se trouver allumés dans le voisinage de la machine.

Un robinet à manivelle sert à régler l'arrivée du gaz pour une vitesse déterminée.

De plus, une valve commandée par la tige actionnée par le régulateur assure à la machine une marche régulière.

Dans les diagrammes relevés sur des machines de ce système : la courbe qui décroît régulièrement et sans saccade indique une grande régularité dans la pression des moteurs.

L'effet utile est d'environ 70 pour 100.

Comme toutes les machines à gaz, d'une certaine puissance, elle exige 40 à 58 litres d'eau par cheval et par heure pour le refroidissement du cylindre.

Voici quelques chiffres relatifs au moteur de un cheval :

Longueur de la machine, $0^{m},70$.

Largeur de la machine, $0^m,65$.
Hauteur de la machine, $0^m,90$.
Poids de la machine, 650 kilogrammes, volant et poulies compris.
Diamètre intérieur du cylindre, 0,220.
Course du piston, 0,250.
Nombre de tours par minute, 100.

La consommation du gaz est d'environ un mètre cube par cheval et par heure.

De même que pour les moteurs à vapeur, le rendement augmente avec la puissance et, par conséquent, la consommation de combustible suit la même loi.

Ainsi dans les moteurs de ce système, l'effet utile est de 65 à 68 pour 100 pour les machines de un cheval, et de 70 à 72 pour 100 pour celles de deux chevaux.

La consommation par cheval et par heure diminue d'environ 100 litres entre les deux types.

M. le Président remercie MM. Arson et Ravel et donne rendez-vous pour 2 heures aux membres qui voudront visiter les machines de la classe 14 sous la conduite de MM. Parent et Arson.

La séance est levée à 11 heures trois quarts.

Notes sur la 3e Visite aux Appareils de la Classe 14.

CLASSE 14.

GÉNÉRATEURS, MOTEURS A VAPEUR, A GAZ, TRANSMISSIONS APPLICABLES AUX INDUSTRIES ÉLECTRIQUES.

La visite des membres de la Société aux divers moteurs distribuant la force dans le palais de l'Exposition est faite sous la conduite de MM. Arson et Parent. — On passe en revue successivement les moteurs à vapeur, leurs accessoires et les moteurs à gaz.

MOTEURS A VAPEUR.

Disons que de l'aveu général de tous les constructeurs, les appareils ont dû développer une puissance de beaucoup supérieure à celle assignée par

les différentes compagnies d'électricité; c'est donc grâce à la perfection et à l'élasticité des machines à vapeur que les électriciens sont redevables du succès remporté.

Rien de bien nouveau comme système, nous sommes d'ailleurs trop près de l'Exposition de 1878 pour que des modifications importantes se soient produites, les constructeurs favorisent beaucoup le système Compound; presque toutes les machines qui fonctionnent sont de ce type. Les dispositifs Sulzer ou Corliss, qui présentent des avantages et aussi bien des inconvénients, ne sont employés que par quelques maisons qui en font leur spécialité.

Les enveloppes de vapeur sont d'un emploi presque général, elles ont très grand intérêt dans le système Compound pour produire le rechauffage de la vapeur dans le réservoir intermédiaire, rechauffage qui donne à l'introduction du grand cylindre une pression plus forte que celle de l'échappement au petit cylindre. D'après M. Liebault cette surchauffe est imposée si l'on veut se placer dans les meilleures conditions de fonctionnement. — Les moteurs les plus intéressants, examinés par les membres de la Société, sont les suivants :

Société centrale de construction de machines. — Administrateurs directeurs : MM. Weyher et Richemond. — M. Liebault, ingénieur de la Société, reçoit les sociétaires et leur fait une véritable conférence sur l'emploi de la vapeur, au point de vue des enveloppes. Nous croyons intéressant de résumer rapidement la description du type exposé. C'est un moteur système Compound d'une force nominale de 150 chevaux. Mais il est bon de dire que le 26 août dernier, lors de la répartition des appareils électriques (des transmetteurs comme on semble vouloir dénommer aujourd'hui ces machines) avec un arbre de 70 tours à la minute, une détente totale de 1/8 la force développée a été de 184 chevaux.

La machine est à deux cylindres inégaux, le petit cylindre possède une enveloppe de vapeur qui entoure toute sa surface extérieure et l'intérieur de la boîte à tiroir, l'enveloppe n'environne que la moitié seulement du grand cylindre. Les fonds n'ont pas de circulation de vapeur. Le petit cylindre est avec tiroir à grille actionné par un excentrique circulaire. Un autre excentrique commande un deuxième tiroir à grille sans coquille d'échappement. C'est un tiroir de détente avec lumière comme l'admission. Enfin deux tuiles entraînées par le tiroir de détente et percées de lumières sont arrêtées par une double came actionnée par le régulateur.

En sortant du petit cylindre la vapeur en séjournant dans le réservoir intermédiaire s'y réchauffe et passe de là au grand cylindre où elle entre par un tiroir à simple coquille mû par un excentrique circulaire; de là la vapeur se rend au condenseur, constitué par un cylindre vertical dans lequel l'eau d'injection arrive de bas en haut sous forme de nappe conique. Deux pompes à air que commande un levier en T commandé lui-même par

une petite bielle menée par la tige du piston, aspirent l'eau d'injection et rejettent l'eau réchauffée.

Le régulateur est du type (Porter) avec une came de détente actionnée par un compensateur Denis.

La consommation de vapeur par cheval et par heure est de 8 kilog. 1 kilog. de charbon produisant une moyenne de 10 kilog. de vapeur, on peut compter par cheval 0^k,800 de charbon.

Le type de machine Compound à marche si régulière se recommande surtout pour actionner des appareils destinés à la lumière électrique.

Chaligny et Guyot Sionnest. — M. Sionnest reçoit les sociétaires, il leur explique comment à la suite de l'apparition du système Compound la maison Calla a dû modifier son type courant de locomobile pour y adapter ce mode nouveau d'emploi de la vapeur. Les appareils actuellement fabriqués possèdent de très grandes qualités d'économie, et permettent de tirer de la condensation tous les avantages qu'elle offre. Suivant la puissance des machines la consommation par cheval et par heure s'abaisse.

A condensation de 1^k,500 à 0,950 en charbon de 18 litres à 8 fr. 5 en eau.

A échappement libre de 2 kilog. à 1,350 en charbon, de 16 litres à 12 litres en eau.

Ces résultats, au moins égaux à ceux des meilleurs moteurs fixes, si encombrants et si délicats, sont obtenus en conservant les dispositifs les plus simples, les plus rustiques et les moins coûteux, tels que distribution par tiroir à coquille, grande vitesse de rotation, suppression des poids morts par suite de l'emploi de manivelles à 90°.

La locomobile exposée au palais comprend :

Le générateur, soubassement du mécanisme, est à foyer carré et à tubes de laiton, il est monté sur un cendrier et un support en fonte, il porte une boîte à fumée et une cheminée de 3 à 5 mètres environ. La surface de grille très grande, la boîte à feu très spacieuse, la section des tubes très ample, permettent de brûler toute espèce de combustibles. — La puissance de vaporisation de ces chaudières est considérable, elle s'élève de 8 à 9 kilog. de vapeur par kilogramme de charbon brûlé.

Le mécanisme est porté sur un bâti unique, qui n'emprunte aucune rigidité à la chaudière. Les deux cylindres sont entourés d'une enveloppe de vapeur pour le réchauffage, les distributions se font au moyen de tiroirs à coquille, dont l'usure n'a pas d'influence sur le bon fonctionnement. Un régulateur agit sur une valve et assure une grande régularité de marche. A la pression de 6 kilog. en vitesse normale, le travail mesuré sur le volant dépasse de plus de 80 0/0 la puissance nominale minimum.

Boulet et Cie. — Cette maison expose une machine à vapeur demi fixe à deux cylindres Compound et a condensation. — La chaudière est du type Thomas et Laurens à foyer amovible, qui présente comme on le sait de sérieux avantages, à savoir : une économie de combustible produite par le retour de flamme et la combustion complète de tous les gaz, qui abandonnent entière-

ment leur chaleur dans les tubes avant d'arriver à la cheminée, de grandes facilités de nettoyage des tubes à cause de l'amovibilité du foyer. — Le mécanisme est relié à la chaudière par un fort bâti, qui le rend indépendant, de telle façon que les dilatations subies par la chaudière n'ont aucune influence sur la précision du montage. — L'attache du bâti à la chaudière est faite au moyen de frettes en fer, ce qui supprime les boulons ou goujons occasionnant des fuites. La machine ne présente rien de particulier sinon un régulateur Isochone d'Andrade agissant sur la détente.

Warral-Elwel et Middleton. — Cette maison expose un moteur tout particulier, il est à grande vitesse et permet d'actionner directement des machines Gramme exigeant des vitesses de 6 à 800 tours.

L'appareil comprend deux machines à vapeur à double effet identiques dans toutes leurs parties et attelées sur un arbre commun, les boutons de manivelle sont placés à 180° l'un de l'autre. — Cette disposition fait en sorte que l'arbre est sollicité à chaque instant par des forces se faisant équilibre. De plus les pièces en mouvement, bielles, pistons, leviers, tiges de leviers tiges de pistons étant placées symétriquement par rapport à l'axe du moteur, sont animées de vitesses égales et en sens contraire, ces pièces sont toutes identiques de forme, elles ont des masses égales et par conséquent s'équilibrent deux à deux. — Le moteur est donc théoriquement dans un état parfait de stabilité, état indépendant de la vitesse. — En pratique on peut arriver à des vitesses de 900 à 1000 tours par minute. Ce moteur exige un graissage complet et automatique, on le réalise au moyen d'un reservoir qui amène l'huile dans un trou percé dans l'intérieur de l'arbre, sur ce conduit viennent déboucher de petites ouvertures à l'endroit de chaque tourillon à graisser, le surplus de cette huile est projeté sur un couvercle en tôle qui l'amène dans des espèces de gouttières placées de chaque côté de la machine et qui, au moyen de fils conducteurs, alimentent d'huile les petits tourillons des bielles.

Les pistons ont une grande longueur, ils sont creux et ajustés à frottement doux dans l'intérieur des cylindres de façon à éviter l'emploi de segments qui pourraient amener des accidents par des grippements.

La distribution se fait par des tiroirs à coquille équilibrés permettant d'ouvrir par de petits déplacements de grands orifices.

Nous croyons utile de donner les dimensions principales de la machine :

Diamètre des pistons.	0m,135
Course d°	0m,110
Surface d°	0m,0143
Surface des orifices d'échappement de vapeur 0,025 × 0,110 =	0,0035.
Longueur de la machine.	1m,050
Largeur d°	0m,800
Vitesse des pistons par seconde correspondante à l'allure de 1000 tours à la minute.	3m,67
Poids de la machine.	500k

Olry et Grandemange. — Ces messieurs montrent aux sociétaires leur moteur, c'est une machine à un seul cylindre à détente variable à la main et à condenseur. Les caractères distinctifs sont : une enveloppe de vapeur indépendante de la distribution, un très bon guidage dans tous les sens du tiroir, des cadres et des tuiles, ainsi que des tiges. Le tiroir est appliqué sur sa glace par une arrivée directe de vapeur en plein sur son dos.

La partie la plus intéressante est constituée par le condenseur qui comprend sous une seule pièce la cloche de vide, la pompe à air et le récepteur d'eau chaude. Toutes les garnitures sont hydrauliques. Le vide descend toujours à 73 centimètres et même plus bas. — Un robinet permet le fonctionnement immédiat à libre échappement.

J. Farcot et ses fils. — Le moteur exposé est une machine Corliss, susceptible de développer une force de 120 chevaux. Ce type de machine est celui qui est apparu en 1878 à l'Exposition universelle, il en diffère cependant par des dispositions plus simples, réalisant les mêmes lois cinématiques d'ouverture et de fermeture rapide, ainsi que la prolongation facultative de l'admission a détente au 8/10 de la course du piston. Nous n'entrerons pas dans le détail des dispositions Farcot (on les retrouvera d'ailleurs dans le numéro de la *Revue industrielle*, du 8 mai 1878). Nous dirons simplement que les simplifications récentes sont obtenues en utilisant *pour le déclanchement*, *le retour aussi bien que l'aller du tiroir*. Le mouvement d'enclanchement étant maintenant tout entier concentrique à l'axe même de ce tiroir, on a pu supprimer la manivelle intermédiaire, formant parallélogramme articulé, qui avait pour but de forcer la pédale d'enclanchement à se mouvoir horizontalement, ce qui compliquait l'ensemble et augmentait le *nombre d'articulations*, *réduit aujourd'hui au minimum*.

Au point de vue de l'économie de combustible, la machine Farcot est très avantageuse; d'après de nombreux essais, on peut dire que pour produire 1 cheval indiqué, elle consomme 0,700 de charbon. Il convient d'ajouter que cette économie ne se constate pas seulement aux environs de la puissance nominale, elle se combine aussi avec l'avantage de grande élasticité que possède cette machine. D'après M. Farcot, ces résultats sont dus surtout à la suppression presque complète des espaces nuisibles rendus trois ou quatre fois moindres que dans les Corliss ordinaires.

Tachymètre Buss. — M. Buss, présente aux sociétaires son tachymètre, appareil destiné à indiquer à chaque instant et d'une manière certaine le nombre de tours des arbres rotatifs. Il est mis en mouvement par l'intermédiaire de poulies, d'engrenages et il indique sur un cadran divisé, muni d'une aiguille, le nombre de tours ou la vitesse angulaire à laquelle un arbre quelconque marche au moment de la lecture.

La description de l'appareil serait trop longue pour pouvoir être faite

dans ce simple procès-verbal, nous nous contenterons d'indiquer comment l'appareil fonctionne.

Sur l'arbre dont on veut déterminer la vitesse, on place une poulie ou un engrenage égal à celui du tachymètre, si la vitesse reste comprise entre 250 et 1000 tours par minute. Pour mesurer des vitesses situées en dehors de ces limites, on se basera sur la différence de diamètre entre la poulie de l'appareil et celle de l'arbre. Le rapport des vitesses peut être quelconque, mais pour éviter tout calcul, le cadran est gradué sur la rangée extérieure de divisions, de manière à indiquer immédiatement par l'aiguille le nombre de tours.

D'après un rapport dressé par une commission de la marine, que montre M. Buss, résumant des expériences faites avec l'appareil au port de Brest; le nombre de tours observé n'a jamais différé de plus de un avec celui qui était indiqué par le tachymètre. Le rapport conclut en ces termes :

« Au point de vue des indications, le tachymètre donne des résultats aussi satisfaisants que possible. L'aiguille reste presque absolument fixe, elle n'a qu'un léger tremblotement sans influence sur la lecture des indications. Il y a lieu de l'installer sur des machines à allure rapide, comme celles qui actionnent les torpilleurs, les pompes centrifuges, les ventilateurs, les machines magneto-électriques. »

Courroies. — Les sociétaires examinent successivement deux nouveaux genres de courroie.

Courroies Lubermann, entièrement métalliques. — Ces courroies se composent d'un tissu en fil métallique, fer, acier, cuivre. Ce tissu est très souple, il permet à la courroie d'embrasser les plus petits diamètres de poulies. Des expériences faites au Conservatoire, ont établi qu'à largeur égale les courroies métalliques peuvent supporter sans allongement une charge triple de celle à laquelle on soumet la courroie en cuir dans la pratique. Un grand avantage que paraissent présenter ces courroies consiste dans la suppression du joint; une simple hélice métallique vissée dans les mailles des deux bouts de courroie inférieure forme un joint parfait, offrant la même résistance qu'en tout autre point. Le glissement de la courroie est évité si l'on enduit les poulies d'une garniture en tissu caoutchoucté.

Courroies en coton. — Ces courroies sont fabriquées en coton américain de première qualité et elles sont cousues en points spéciaux par couches indépendantes. Les bords sont arrondis pour éviter les frottements avec la fourchette. Elles sont enduites d'une matière spéciale qui les rend inaltérables au feu, au froid et à l'air. Ces courroies ont l'avantage d'être meilleur marché que celles en cuir.

Moteurs a gaz.

M. Arson explique aux sociétaires le fonctionnement des divers types de moteurs à gaz existant au palais de l'Industrie.

Moteur Otto et Langen. — Le type à un cylindre est connu : un cylindre horizontal monté sur un bâti est ouvert à l'une de ses extrémités. Un piston mis en mouvement par une bielle et une manivelle se meut dans ce cylindre, le tiroir de distribution est placé sur la face arrière du cylindre. Lorsque le piston se meut à partir du fond il aspire du gaz et de l'air, l'admission se ferme, dans sa course inverse le piston comprime le mélange au 2/5 du volume primitif ; l'inflammation a lieu, les gaz de la combustion poussent le piston, à cet instant le travail moteur est produit ; à la course suivante les produits gazeux sont éliminés. — La machine ne travaille utilement que 1 coup sur 4, elle absorbe du travail pendant la compression du mélange.

Le type courant qui fonctionne à l'Exposition est 2 ou 4 chevaux. Les dimensions sont les suivantes :

	2 chevaux.	4 chevaux.
Longueur de la machine.	2,460	2,940
Largeur de la machine.	1,020	1,200
Hauteur de la machine.	0,985	1,110
Poids de la machine.	850k	1,250k
Diamètre du cylindre.	0,130	0,160
Course du piston.	0,270	0,350
Nombre de tours par minute. . .	180t	160.

Pour éviter les inconvénients de la discontinuité dans la transmission du travail, la Société des moteurs à gaz a réalisé un type de machine à deux cylindres actionnant un même arbre ; ce sont deux machines ordinaires tout à fait séparées, mais combinées de telle sorte que l'une est en compression quand l'autre fait son explosion. — Ce moteur est susceptible de donner 50 chevaux. — On conçoit déjà la possibilité de construire des appareils capables d'engendrer des forces de 100 et 150 chevaux.

Moteur Bischopp. — Ce type est exposé par MM. Mignon et Rouart, et par MM. Muller et Roux. C'est un moteur à simple effet, le cylindre est vertical, un tiroir cylindrique mis en mouvement par un excentrique introduit à la fois le gaz et l'air en proportion voulue, et ce même tiroir dans son mouvement inverse sert à l'évacuation des produits de la combustion. Le gaz n'agit que pendant la course ascendante du piston. — Le moteur Bischopp est surtout appliquable aux petites industries, il se prête très bien à la division du travail, le type courant est de 6 kilogrammètres. Il consomme environ 350 litres à l'heure.

Moteur Ravel. — Cette machine fonctionne sans compression, elle donne un effet utile de 60 à 70 pour 100 et consomme par cheval et par heure environ 1 mètre cube de gaz. Le moteur type de 1 cheval présente les dimensions suivantes :

Longueur	0,70
Largeur	0,65
Hauteur	0,90
Poids	650k
Chaudière du cylindre	0,220
Course du piston	0.250
Nombre de tours par minute	100t

L'avantage sur les moteurs Otto paraît être une diminution du poids de la machine, toutes choses égales d'ailleurs.

Moteur Clerk. — Ce moteur est d'un type nouveau, il comprend deux cylindres : le cylindre moteur, qui actionne l'arbre par bielle et manivelle, et le cylindre dit *déplaceur*, qui prend son mouvement sur un maneton calé sur l'un des bras du volant, par l'intermédiaire d'une bielle. Ce cylindre déplaceur aspire un mélange de gaz et d'air pendant 1/10 de sa course, pendant les 9 autres dixièmes, c'est de l'air frais qui pénètre et qui ne se mélange pas au volume déjà aspiré. A ce moment une explosion vient se produire dans le cylindre moteur, qui ouvre à l'échappement en même temps qu'il donne accès à l'air frais du déplaceur, air qui refroidit les parois échauffées, au moment où le mélange de gaz et d'air du déplaceur pénètre dans le cylindre moteur, l'échappement de ce dernier fermé, le mélange explosif est comprimé pendant la fin de la course du piston moteur à trois atmosphères, un bec de gaz met le feu au mélange et le piston moteur est poussé à l'arrière. Les choses sont ramenées dans les conditions initiales, et le fonctionnement recommence. L'adjonction de cette capacité supplémentaire qui prépare le mélange présente de sérieux avantages, la machine est plus continue, car elle fait une explosion par tour. Ce moteur développe 6 chevaux, fait 150 tours par minute, le diamètre du piston est de 0,150, sa course 0,300.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

SÉANCES - VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ

PROCÈS-VERBAL DE LA 4e SÉANCE-VISITE

tenue le Mardi 11 Octobre 1881

(Palais de l'Exposition de l'Électricité)

Présidence de M. Henri Mathieu.

L'Administration n'ayant pas mis de salle à la disposition de la Société, la séance projetée n'a pu avoir lieu et les membres de la Société ont procédé immédiatement, sous la conduite de MM. D. Monnier et Hospitalier, à la visite des appareils de la classe 5, électrométrie.

Nous donnons ci-dessous le texte de la communication préparée par M. D. Monnier sur les *Unités de mesure des grandeurs électriques*.

UNITÉS DE MESURE DES GRANDEURS ÉLECTRIQUES

Par M. D. MONNIER.

Aussitôt que dans l'étude des phénomènes électriques on veut passer du domaine purement spéculatif à celui des recherches quantitatives et des applications industrielles, il devient nécessaire d'adopter un système de mesures qui permette d'exprimer l'intensité des manifestations électriques en fonction d'unités bien définies indépendantes des procédés et des instruments particuliers de mesure.

Ce desideratum se posa avec une urgence spéciale à l'occasion des grandes entreprises télégraphiques sous-marines et, en 1861, l'*Association Britannique* pour l'avancement de la science, chargea une commission spéciale d'étudier la question au double point de vue scientifique et pratique.

C'est dans les rapports de cette commission[1] qu'on trouve les bases de l'électrométrie moderne qui viennent de recevoir la sanction du Congrès international des électriciens.

1. Reports of the Committee on Electrical Standards appointed by the British Association for the Advancement of Science.

Les phénomènes électriques se manifestant à nous sous la forme d'actions dynamiques, il est extrêmement logique d'en chercher la mesure en fonction des trois unités fondamentales de mécanique : *espace*, *masse*, *temps*.

Les notions de *temps* et d'*espace* échappent à toute définition ; ce sont des idées élémentaires acquises par l'expérience. Il n'en est pas de même de l'idée de *masse* qui prend son origine dans l'étude du mouvement des corps. La masse d'un corps exprimant le rapport entre le poids de ce corps et l'accélération de la pesanteur, est une quantité constante pour un même corps quel que soit le point du globe où il se trouve, tandis que son poids varie d'un point à un autre. C'est pour ce motif que dans la mesure des forces on a substitué la notion de masse à celle de poids, bien que cette dernière fût beaucoup plus simple. — Nous désignerons les trois unités fondamentales de longueur, de masse et de temps par les lettres L, M, T.

Les unités adoptées aujourd'hui pour la mesure des grandeurs électriques sont basées sur l'emploi du centimètre, de la masse de un gramme, et de la seconde. Ce système est représenté par le symbole CGS (centimètre-gramme-seconde). Mais on conçoit que le choix des unités fondamentales est arbitraire et ne modifie en rien les relations qui existent entre la grandeur des unités dérivées et celles des unités fondamentales. Ces relations constituent ce que Fourier a appelé les *dimensions* des unités dérivées. Il est nécessaire de les connaître afin de pouvoir calculer les changements que subit chacune des unités dérivées lorsqu'on modifie la grandeur des unités fondamentales.

Ainsi, par exemple, si nous désignons l'unité de vitesse par v et que nous la définissions : vitesse d'un corps animé d'un mouvement uniforme qui parcourt d'unité de longueur dans l'unité de temps nous aurons : $v = \frac{L}{T}$.

Si du système l'unité L T, nous passons au système L′ T′ l'unité de vitesse dans ce nouveau système sera $v' = \frac{L'}{T'}$, et nous aurons évidemment : $\frac{v'}{v} = \frac{L'}{L} \cdot \frac{T}{T'}$.

Si, par exemple : L = 1 mètre. T = 1 seconde.
L′ = 1 kilomètre. T = 1 heure.

nous aurons : $\frac{v'}{v} = \frac{1000}{3600}$.

Les valeurs concrètes 10 mètres par seconde et 36 kilomètres par heure, sont égales, mais les nombres abstraits qui expriment la même vitesse du mobile sont différents et inversement proportionnels aux grandeurs des unités adoptées dans le premier et le second système.

D'une manière générale si $A = \varphi$ (L. M. T.) représente la grandeur d'une certaine unité dans le système L T M, $A' = \varphi$ (L′ M′ T′) représentera la

grandeur de l'unité de même espèce dans le système L' T' M' et l'on aura :

$$\frac{A'}{A} = \varphi\left(\frac{L'}{L}, \frac{M'}{M}, \frac{T'}{T}\right).$$

Si n A donne la mesure d'une grandeur exprimée dans le premier système et n' A' la mesure de la même grandeur dans le second n A $= n'$ A' et $\frac{n'}{n} = \frac{A}{A'}$.

UNITÉS MÉCANIQUES

Les unités mécaniques dérivant directement des unités fondamentales sont : *la vitesse*, *l'accélération*, la *force*, le *travail*.

L'unité de *vitesse* est la vitesse d'un mobile parcourant l'unité de longueur dans l'unité de temps. Ses dimensions sont : $\frac{L}{T}$.

L'unité d'*accélération* est l'accélération d'un mobile dont la vitesse augmente d'une unité dans l'unité de temps ; elle a pour expression : $\frac{L}{T^2}$.

L'unité de *force* est la force qui communique l'unité d'accélération à l'unité de la masse ; elle a donc pour expression : $\frac{LM}{T^2} = F$.

L'unité de *travail* est le travail de l'unité de force parcourant l'unité de longueur $W = \frac{L^2 M}{T^2}$.

L'*énergie* d'un système est mesurée par le travail total dont ce système est capable. C'est ce que Bélangler a désigné sons le nom de *puissance vive* $1/2\ mv^2$

Dans le système CGS l'unité de force a reçu le nom de *dyne* et l'unité de travail celui de *erg*.

GRANDEURS ÉLECTRIQUES

Les principales grandeurs électriques sont : la quantité (Q) l'intensité du courant (I) le potentiel (V) ou force électro-motrice (E) la résistance (R) la capacité (C).

Nous allons définir chacune de ces grandeurs et chercher les relations qui existent entre elles.

QUANTITÉ. — Il est tout d'abord nécessaire de montrer que ce que nous appelons « électricité » peut être assimilé à une quantité, c'est-à-dire est susceptible de nombre et de mesure. A cet effet, il suffira de rappeler les principes de quelques expériences connues.

I. On prend deux disques de même diamètre, l'un en verre, l'autre en résine. Ces disques étant portés par des manches isolants, on les frotte l'un contre l'autre. Ils sont électrisés, mais en sens différents : l'un est chargé d'électricité vitreuse, l'autre d'électricité résineuse.

Si au moyen d'un fil de soie on suspend le disque de verre à l'intérieur d'un vase métallique isolé A on constate que la surface extérieure du vase est électrisée vitreusement par influence. Le disque étant retiré, l'électrisation du vase disparaît. Si au verre on substitue la résine, on obtient un effet analogue, mais l'état électrique de la surface extérieure est résineux.

II. Si au lieu d'introduire les deux disques électrisés l'un après l'autre on les introduit ensemble, la surface extérieure du vase n'est plus électrisée : la somme des effets produits est égale à zéro. On en conclut que les charges électriques des deux disques sont égales, mais en sens contraire[1].

En introduisant dans le vase A d'autres corps électrisés d'une façon quelconque, on constatera que l'état électrique de la paroi extérieure peut être considérée comme la somme algébrique de toutes les charges introduites dans le vase. Cette expérience fournit donc le moyen pratique d'additionner les effets électriques de différents corps sans modifier leur état électrique individuel.

III. Prenons un second vase métallique isolé B. Si après avoir suspendu le disque de verre à l'intérieur de A et le disque de résine à l'intérieur de B, on met les deux vases en communication par un fil métallique, tous les signes d'électrisation auront disparu. Supprimons le fil et enlevons les disques sans toucher les parois, A sera chargé d'électricité résineuse et B d'électricité vitrée. — Le disque de verre et le vase A étant suspendus ensemble à l'intérieur d'un troisième vase C isolé, on constate qu'il n'y a point d'électricité à l'extérieur de C. La charge électrique de A est donc égale et opposée à celle du disque de verre. On verra de même que celle de B est égale et opposée à celle du disque de résine. Nous avons ainsi le moyen de communiquer à un vase un état électrique égal et opposé à celui d'un corps électrisé sans modifier l'électrisation de ce dernier.

IV. Le vase B étant électrisé positivement comme dans l'expérience précédente, prenons sa charge électrique comme unité et suspendons-le à l'intérieur de C sans toucher les parois de celui-ci. La surface extérieure de C sera électrisée positivement. Amenons B en contact avec l'intérieur de C. L'électrisation extérieure ne sera pas modifiée ; mais si on retire B et qu'on l'éloigne de C, on constatera que B est complètement déchargé et que C a pris une unité d'électricité positive. Nous avons donc le moyen de transférer la charge de B en C. Après avoir rechargé B nous pouvons répéter cette opération, et en suivant la même marche nous constaterons que

1. L'usage a prévalu de considérer l'électricité vitrée comme positive et l'électricité résineuse comme négative. C'est une convention de même nature que celle qui, en géométrie analytique, compte comme positives les distances mesurées de gauche à droite et négatives celles qui sont mesurées dans la direction opposée.

quelles que soient les charges respectives de C et de B, la charge de B sera entièrement transférée en C. Nous avons donc le moyen de charger un corps d'un nombre quelconque d'unités électriques.

Il résulte des expériences que nous venons de rappeler qu'en dehors de toute hypothèse sur la nature de l'électricité on peut assimiler l'état électrique d'un corps à une quantité physique susceptible de nombre et de mesure, et ajouter les effets d'un nombre quelconque de charges en opérant de la même façon que pour des quantités algébriques, c'est-à-dire en donnant à chacune le signe qui lui convient.

La *charge* d'un corps est la quantité d'électricité qu'il contient.

La *densité rapportée au volume* en un point d'un corps est égale à la charge qui serait contenue dans l'unité de volume autour de ce point si la densité était uniforme et la même que celle du point considéré.

La *densité rapportée à la surface* en un point est égale à la charge qui serait contenue sur l'unité de surface autour de ce point, si la densité en chaque point de cette unité de surface était la même que celle du point considéré.

POTENTIEL. — La force qui s'exerce entre deux corps électrisés dépend de leurs charges respectives et de la distance qui les sépare. Coulomb a étudié cette question expérimentalement et démontré les lois suivantes :

1° La force qui s'exerce entre deux corps électrisés est proportionnelle au produit de leurs charges.

2° La force d'attraction ou de répulsion qui s'exerce entre deux corps électrisés, dont les dimensions sont très petites par rapport à leur distance, varie en raison inverse du carré de cette distance.

La force f, qui s'exerce entre deux corps électrisés dont les charges respectives sont q et q', et qui sont séparés par une distance l, est donc proportionnelle à $\frac{qq'}{l^2}$, et si on prend comme unité de quantité la quantité qui exerce l'unité de force sur une quantité égale placée à l'unité de distance, on pourra écrire $f = \frac{qq'}{l^2}$. Si q et q' sont de même signe, leur produit sera *positif* et la force f sera une *répulsion*. S'ils sont de signes contraires, leur produit sera *négatif* et la force f sera une *attraction*.

Considérons un point A ayant une charge électrique positive égale à l'unité et soumis à l'action d'un système de points électrisés $a_1\ a_2 \dots$ dont les charges respectives sont $q_1\ q_2 \dots$

Soient ξ, η, ζ les coordonnées de A rapportées à trois axes rectangulaires et $x_1\ y_1\ z_1\ x_2\ y_2\ z_2 \dots$ celles des points $a_1\ a_2 \dots$

Désignons par $l_1\ l_2 \dots$ les distances $Aa_1\ Aa_2 \dots$

Pour un a quelconque on a

$$l_2 = (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta)^2.$$

La force qui s'exerce entre A et le système des points a est la résultante

des actions f de chacun de ces points sur le point A, et puisque la charge de A est égale à l'unité $f = \frac{q}{l^2}$, et les composantes X Y Z suivant les axes coordonnés de l'action du système des points a sur le point A seront

$$X = \Sigma \frac{q}{l^2} \cos \alpha \qquad Y = \Sigma \frac{q}{l^2} \cos \beta \qquad Z = \Sigma \frac{q}{l^2} \cos \gamma,$$

en appelant α, β, γ les angles du vecteur l avec chacun des axes coordonnés.

Les cosinus de ces angles seront positifs si la force exercée sur A est attractive et négatifs si elle est répulsive. Si q est positif, c'est-à-dire de même signe que A, il y aura répulsion (cosinus négatifs), si q est négatif il y aura attraction (cosinus positifs). Les produits $q \cos \alpha$, $q \cos \beta$, $q \cos p$ seront donc toujours négatifs et on aura en remplaçant les cosinûs par leurs valeurs en fonction des coordonnées :

$$X = -\Sigma \frac{q}{l^2} \cdot \frac{x - \xi}{l}, \quad Y = -\Sigma \frac{q}{l^2} \cdot \frac{y - \eta}{l}, \quad Z = -\Sigma \frac{q}{l^3} \cdot \frac{z - \varsigma}{l}.$$

Si on déplace le point A de la position (ξ, η, ς) pour le faire passer à une autre position $(\xi' \eta' \varsigma')$ pour laquelle $l = l'$, le travail des forces électriques pendant ce déplacement sera égal à

$$\int X d\xi + Y d\eta + Z d\varsigma,$$

ou

$$-\Sigma \int_l^{l'} \frac{q}{l^3} \left[(x - \xi)\, d\xi + (y - \eta)\, d\eta + (z - \varsigma)\, d\varsigma \right] =$$

$$= -\Sigma \int_l^{l'} -\frac{q\, d\, l}{l^2};$$

c'est-à-dire égal à

$$\Sigma \left(\frac{q}{l} - \frac{q}{l'} \right).$$

Si on fait $l' = \infty$, le travail des forces électriques sera égal à

$$\Sigma \frac{q}{l}.$$

On donne à la fonction $\Sigma \frac{q}{l}$ le nom de fonction potentielle ou de *potentiel* relatif au point A, et on la désigne par la lettre V.

Le potentiel en un point est donc le travail développé par l'unité d'électricité positive supposée placée en ce point, quand cette unité s'éloigne à l'in-

fini, en supposant que la distribution électrique du système reste constante pendant ce déplacement.

Si l'unité d'électricité positive se déplace de A en A', le travail développé pendant ce déplacement sera égal à $\Sigma\left(\frac{q}{l} - \frac{q}{l'}\right)$; c'est-à-dire à la différence V — V' des potentiels en A et A'.

Si V > V', le travail est positif; c'est-à-dire qu'en se déplaçant dans la direction de la force (du potentiel le plus élevé au potentiel le moins élevé) l'unité d'électricité positive fournira un travail qui aura pour mesure la différence ou la chute de potentiel.

Si V < V' le travail sera négatif, c'est-à-dire que si on veut déplacer cette unité d'électricité positive dans la direction opposée à celle de la force, le travail nécessaire à cet effet devra être fourni par une source extérieure.

La différence de potentiel entre deux points peut donc également être définie comme étant égale à la somme de travail nécessaire pour déplacer une unité d'électricité positive d'un point à l'autre dans la direction opposée à celle suivant laquelle elle tend à se mouvoir.

Le lieu des points pour lesquels le potentiel a une valeur constante est une surface que l'on nomme *équipotentielle* ou *surface de niveau électrique* parce qu'un point astreint à rester sur cette surface n'a évidemment aucune tendance à se déplacer sur cette surface.

La force résultante en un point (force exercée sur l'unité d'électricité concentrée en ce point) est dirigée suivant la normale à cette surface, et la grandeur de cette force est telle que le travail développé pour une unité d'électricité qui passe du niveau V au niveau V' est égal à V — V'.

Le trajectoire décrite par un point qui se meut toujours dans la direction de la force résultante est ce que Faraday appelle une *ligne de force*. Ces lignes sont normales aux surfaces équipotentielles.

On nomme *champ électrique* la portion de l'espace qui environne un corps, quand on l'envisage au point de vue des actions électriques qui s'exercent sur ce corps. En traçant les lignes de force suivant une certaine règle on peut représenter l'intensité de la force résultant en chaque point du champ, en même temps que sa direction. Il suffit pour cela que dans une certaine portion de leur course, on espace ces lignes de telle sorte que le nombre émanant de l'unité d'aire soit *égal* au nombre qui représente l'intensité du champ dans cette partie. L'intensité de la force dans une autre partie du champ sera mesurée par le nombre des lignes coupées par l'unité d'aire dans cette partie. Chaque ligne représente une force égale et constante [1]. On obtient aussi une représentation matérielle du champ de forces que l'on veut étudier.

FORCE ÉLECTRO-MOTRICE. On nomme *force électro-motrice* la force particu-

1. Electricity and magnetism de Clerk Maxwell.

lière, quelle que soit d'ailleurs son origine qui tend à produire une différence de potentiel entre deux points ; elle a pour mesure cette différence de potentiel, ce qu'on exprime par l'équation.

$$E = V_1 - V_0.$$

Par abréviation, on dit souvent potentiel en un point, au lieu de différence de potentiel entre ce point et la terre, de la même manière qu'on dit la hauteur d'un édifice, etc.

Courant. Si deux conducteurs isolés, à des potentiels différents sont reliés par un conducteur, on constate qu'au bout d'un temps très court le potentiel de l'un a diminué, celui de l'autre a augmenté, jusqu'à ce qu'il soient arrivés tous deux au même potentiel. On dit qu'il y a eu transport d'électricité d'un corps à l'autre. Ce flux d'électricité qu'on nomme *courant électrique*, se produit toutes les fois qu'un fil métallique ou autre conducteur sert à relier deux autres conducteurs dont les potentiels sont différents. Si ces conducteurs sont isolés, le courant n'a qu'une très courte durée ; mais si au lieu de les isoler on les maintient constamment à des potentiels différents au moyen d'un travail continu, on aura un courant permanent.

Pendant le passage du courant on constate que le fil conducteur possède la propriété de dévier une aiguille aimanté, et on peut vérifier par l'expérience que la force qui produit cette déviation est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à la quantité d'électricité qui passe dans le conducteur en une seconde. On définit l'intensité du courant en disant qu'elle a pour mesure la quantité d'électricité transportée dans l'unité de temps. Cette définition est exprimée par l'équation.

$$I = \frac{Q}{t},$$

I instensité du courant.
Q quantité d'électricité transportée dans le temps t.

Résistance. Si sans rien changer aux autres éléments on fait varier la force électro-motrice, on constate que l'intensité du courant varie toujours proportionnellement à la force électro-motrice, c'est-à-dire que pour un conducteur donné on aura toujours $\frac{E}{I} = \text{Constante}$.

Cette constante est ce que l'on nomme la *résistance* électrique du conducteur ; on la désigne par la lettre R, et l'équation ci-dessus peut se mettre sous la forme.

$$I = \frac{E}{R}.$$

C'est la loi de Ohm.

L'expérience indique que la résistance R d'un conducteur homogène de section constante est directement proportionnelle à sa longueur et inver-

sement proportionnelle à section transversale, quelle que soit d'ailleurs la forme de cette section.

La résistance R varie considérablement d'un corps à un autre ; pour le même corps elle varie dans des limites plus ou moins étendues avec le degré de pureté, l'état moléculaire, la température.

On nomme *résistance spécifique* d'un corps le résistance d'un conducteur formé avec ce corps, ayant l'unité de longueur et une section égale à l'unité de surface.

Nous avons vu que l'unité d'électricité en passant d'un niveau électrique supérieur à un niveau inférieur produit un travail ; le courant échauffe le conducteur, aimante le fer, produit des décompositions chimiques, etc. Ces effets peuvent donc être rapportés à l'unité de travail et le docteur Joule a démontré que le travail développé dans un temps donné pouvait être mesuré par le produit de la force électro-motrice multipliée par la quantité d'électricité déplacée pendant ce temps. Ce résultat s'exprime par l'équation $W = EQ$, ou en remplaçant Q par sa valeur It et E par sa valeur IR on aura $W = I^2Rt$.

Capacité. Si un corps conducteur isolé est mis en communication avec une source électrique, il se chargera d'électricité jusqu'au moment où l'équilibre des potentiels sera établi. — L'expérience indique que la quantité d'électricité nécessaire pour produire cet équilibre dépend des dimensions, de la forme, de la position du conducteur isolé et de celles des conducteur voisins ; elle dépend également de la nature de l'isolant et de la différence de potentiel qui existe entre le conducteur isolé et les conducteurs voisins au moment de la charge. Mais la charge que peut prendre un conducteur placé dans des conditions déterminées est proportionnelle à la différence de potentiel qui existe entre lui et les conducteurs voisins et on appelle *capacité électrique* du conducteur la charge qui lui est nécessaire pour que son potentiel augmente d'une unité. Il y a comme on le voit une analogie complète entre cette définition et celle de la capacité des corps pour la chaleur.

Considéré au point de vue de la charge statique qu'il peut prendre, le conducteur se nomme *condensateur*.

De la définition qui précède résulte la relation $C = \frac{Q}{E}$ ou $Q = CE$.

Quand on charge un condensateur, il faut dépenser une certaine quantité de travail qui, s'il n'y avait pas eu d'autres résistances à vaincre que les forces électriques, se retrouverait tout entière dans le travail effectué pendant la décharge du condensateur.

Soient C capacité du condensateur;
V potentiel final correspondant à la charge complète;
Q la charge totale. On a $Q = VC$;
v le potentiel à un instant quelconque;
q la charge du condensateur correspondant au potentiel v; on a aussi $q = vC$.

Pour augmenter la charge d'une quantité dq, le travail nécessaire sera $dW = v\,dq$: mais on a aussi $dq = C\,dv$, donc $dW = Cv\,dv$,

$$W = \int_0^V c v\,dv = \tfrac{1}{2}\,C V^2$$ ou en remplaçant CV par sa valeur Q

$$W = \tfrac{1}{2}\,Q V.$$

C'est l'énergie du condensateur ayant une charge Q au potentiel V.

Résumé. En nous reportant aux développements qui précèdent, nous voyons que les cinq grandeurs électriques principales : Quantité (Q) force électro-motrice (E), intensité (I), résistance (R), capacité (C), sont liées entre elles et aux grandeurs dynamiques par les relations :

$$Q = I t;\ I = \frac{E}{R};\ Q = CE;\ W = I^2 R t.$$

Comme il n'y a que quatre équations pour lier ces cinq quantités, on pourra fixer arbitrairement la valeur de l'une d'elles; les quatre autres se déduiront naturellement.

En prenant comme point de départ la définition de l'unité de quantité, la Commission de l'Association Britannique, s'est trouvée conduite à adopter deux systèmes différents : l'un qu'on nomme *électro-statique*, définit la quantité en se fondant sur la loi de Coulomb. C'est le système qui se prête le mieux à l'étude des phénomènes d'électricité statique; l'autre qu'on nomme *électro-magnétique*, exprime la quantité en fonction de la force exercée par un courant sur un aimant; il convient plus particulièrement à l'étude des phénomènes de l'électricité en mouvement. Nous allons déterminer les dimensions des diverses unités dans l'un et l'autre de ces deux systèmes.

SYSTÈME ÉLECTRO-STATIQUE.

Dans ce système on prend comme unité de quantité la quantité qui exerce l'unité de force sur une quantité égale placée à l'unité de distance. On aura donc en désignant cette unité de quantité par q.

$$\frac{q \times q}{L^2} = F,\ \text{mais}\ F = \frac{LM}{T^2},$$ d'où

Unité de quantité : $$q = \frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T}.$$

Portant cette valeur dans le système des équations fondamentales, on trouve :

Unité de courant : $$i = \frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T^2}.$$

Unité de force électro-motrice : $$e = \frac{L^{\frac{1}{2}}\quad {}^{1}}{T}.$$

Unité de résistance: $r = \frac{T}{L}$.

Unité de capacité: $c = L$.

On voit que dans le système électro-statique les dimensions de l'unité de capacité sont celles d'une ligne. On démontre, en effet, qu'une sphère isolée de rayon a, assez éloignée des corps environnants pour être soustraite à leur influence et dont la charge est q a un potentiel v égal à $\frac{q}{a}$ d'où $a = \frac{q}{v}$ et puisque $\frac{q}{v} = c$ on a $c = a$, c'est-à-dire que la capacité électro-statique d'une shpère est exprimée par son rayon.

Les dimensions de l'unité électro-statique de résistance sont celles de l'inverse d'une vitesse $r = \frac{T}{L}$. On peut s'en rendre compte de la manière suivante :

Imaginons une sphère électrisée en communication avec la terre par un fil conducteur dont la résistance est r. A mesure que le fluide s'écoule la charge du conducteur diminue; mais on peut concevoir que le rayon de la sphère diminue peu à peu, de telle sorte que son potentiel reste constant. Ainsi que l'intensité du courant.

Si a un instant donné q est la charge de la sphère, v son potentiel a, son rayon (= sa capacité), au bout d'un petit intervalle $d\theta$ la charge sera devenue $q - dq$, le rayon $a - da$ et on aura $dq = v\,da$;

mais $i = \frac{dq}{d\theta} = \frac{v\,da}{d\theta}$ d'autre part $i = \frac{v}{r}$,

donc: $\frac{I}{r} = \frac{da}{d\theta}$,

la vitesse avec laquelle doit décroître le rayon de la sphère représente donc en valeur absolue la conductibilité du conducteur ou l'inverse de sa résistance. Ou bien encore la résistance du conducteur est égale au temps nécessaire pour le passage de l'unité de quantité d'électricité à travers ce conducteur, lorsqu'on maintient à ses deux bouts une différence de potentiel égal à l'unité.

SYSTÈME ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE.

GRANDEURS MAGNÉTIQUES.

Pôle magnétique. — Les phénomènes d'attraction et de répulsion magnétiques peuvent se résumer dans la loi suivante, qui a été vérifiée par Coulomb.

Deux pôles magnétiques d'intensité m et m' situés à une distance a agis-

sent l'un sur l'autre avec une force f proportionnelle à $\frac{m m'}{a^2}$; la force est répulsive, si les deux pôles sont de même nom; elle est attractive s'ils sont de noms contraires. Si on prend comme unité de pôle (m) la quantité de magnétisme qui repousse avec l'unité de force une égale quantité de magnétisme semblable placée à l'unité de distance on a $f = \frac{m m'}{a^2}$ et on déterminera les dimensions de l'unité de pôle en posant :

$$\frac{m \times m}{L^2} = F; \quad \text{mais} \quad F = \frac{LM}{T^2}$$

d'où $$m = \frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T} \quad \text{(Pôle magnétique).}$$

Les dimensions du pôle magnétique sont donc les mêmes que celles de la quantité électro-statique.

Potentiel magnétique. — Si un pôle magnétique d'intensité I placé en un point A est soumis à l'action de plusieurs pôles m_1 m_2 . . . situés à des distances l_1 l_2 . . . chacun de ces derniers exercera suivant la ligne Am une force $\frac{m}{l^2}$, et on voit que la fonction $\Sigma \frac{m}{l}$ représentera le *potentiel magnétique* en A, c'est-à-dire le travail développé par l'unité de pôle supposé placé en ce point, quand ce pôle s'éloigne à l'infini, en supposant que la distribution magnétique du système reste constante pendant ce déplacement. L'unité de potentiel magnétique étant l'unité de travail sur l'unité de pôle, ses dimensions sont :

$$\frac{W}{m} = \frac{L^2 \, M \, T^{-2}}{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}}$$

$$V = \frac{L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T} \quad \text{(Potentiel magnétique).}$$

Champ magnétique. — On nomme champ magnétique tout espace soumis à une action magnétique quelle qu'en soit l'origine. L'intensité du champ en un point est mesurée par la force qui agirait sur l'unité de pôle placée en ce point; et l'unité d'intensité de champ magnétique est celle du champ qui produirait l'unité de force sur l'unité de pôle placée en ce point. En désignant cette unité par H on a

$$F = m H, \qquad \text{mais } m = \frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T} \qquad F = \frac{L M}{T^2},$$

d'où $$H = \frac{M^{\frac{1}{2}}}{L^{\frac{1}{2}} T} \quad \text{(Champ magnétique).}$$

D'après ce que nous avons dit précédemment des lignes de force d'un

champ, on voit que pour le champ magnétique comme pour le champ électrique, l'intensité en un point est mesurée par le nombre des lignes de force, qui coupent l'unité d'aire en ce point.

Moment magnétique. — Un champ magnétique uniforme produit sur les deux pôles d'un aimant, deux forces égales et de directions contraires, qui donnent lieu à un couple, et par conséquent la ligne des pôles tend à prendre une direction parallèle aux lignes de force du champ. Si on désigne par m l'intensité de chacun des pôles, par l la distance qui les sépare, par H l'intensité du champ, le moment de rotation de l'aimant sera $m\,l\,H$; le produit $m\,l$ est le moment magnétique de l'aimant. L'unité de moment magnétique est celui d'un aimant dont les deux pôles auraient l'unité d'intensité et qui seraient distants de l'unité de longueur. En désignant cette unité par G nous aurons $G = m \times L$.

$$G = \frac{L^{\frac{5}{2}}\,M^{\frac{1}{2}}}{T}. \qquad \text{(Moment magnétique).}$$

GRANDEURS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.

Courant. Un courant circulaire d'intensité I de rayon a et de longueur l exerce sur un pôle m placé à son centre une force proportionnelle à

$$\frac{I\,l\,m}{a^2}.$$

Si nous prenons comme unité de courant, un courant circulaire de rayon égal à l'unité et de longueur égale au rayon, qui exerce l'unité de force sur l'unité de pôle placé à son centre, on aura :

$$F = \frac{I\,l\,m}{a^2} \qquad \text{ou} \qquad I = \frac{a^2}{l\,m}.\,F$$

$$F = \frac{L\,M}{T^2} \qquad m = \frac{L^{\frac{3}{2}}\,M^{\frac{1}{2}}}{T}$$

d'où

Unité de courant. $$I = \frac{L^{\frac{1}{2}}\,M^{\frac{1}{2}}}{T}.$$

Portant cette valeur dans le système des équations fondamentales, on trouve :

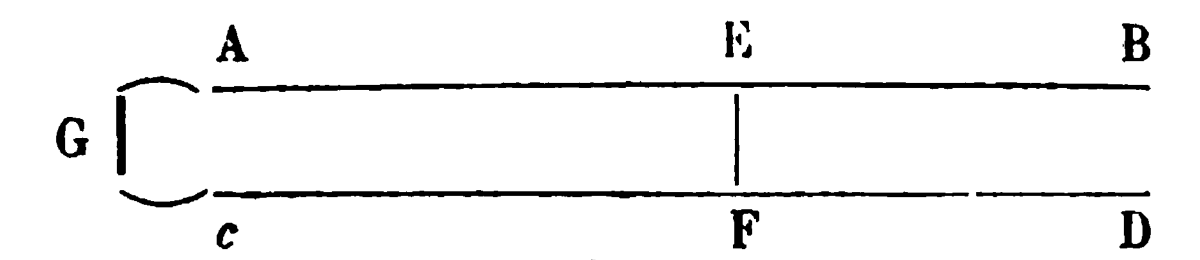
Unité de quantité. $$Q = L^{\frac{1}{2}}\,M^{\frac{1}{2}}.$$

Unité de force électro-motrice. $$E = \frac{L^{\frac{3}{2}}\,M^{\frac{1}{2}}}{T^2}.$$

Unité de résistance. $$R = \frac{L}{T}.$$

Unité de capacité. $$C = \frac{T^2}{L}.$$

On voit que dans le système électro-magnétique, les dimensions de l'unité de résistance sont celles d'une vitesse. Voici l'interprétation physique qui a été donnée de ce fait par sir William Thomson.



Considérons un système formé par deux barres conductrices parallèles AB, CD.

Ces deux barres placées dans un plan perpendiculaire à la direction des lignes de force d'un champ magnétique uniforme d'intensité H communiquent par leurs extrémités A et C à travers un arc galvanométrique G de longueur l et de rayon K placé dans un plan méridien du champ. Une aiguille aimantée est supendue au centre de l'arc.

Si, sous l'action d'une force extérieure un conducteur rectiligne EF de longueur a se meut uniformément avec une vitesse v en s'appuyant sur les barres AB, CD, la force électro-motrice d'induction engendrée par ce mouvement donnera lieu à un courant.

La force électro-motrice développée $E = Hav$.

L'intensité du courant mesurée par le galvanomètre a pour valeur :

$$I = \frac{HK^2}{l} tg\, \varphi$$

φ étant l'angle dont l'aiguille aimantée a dévié sous l'influence du courant ;

Mais on a : $$I = \frac{E}{R} = \frac{Hav}{R}$$

et par conséquent :

$$R = \frac{av}{\frac{K^2}{l} tg\, \varphi}.$$

Si on fait $a = \frac{K^2}{l}$ on aura $R = \frac{v}{tg\, \varphi}$

et pour $\varphi = 45°$ $R = v$.

Ainsi, lorsque la condition $al = K^2$ est remplie, la résistance du circuit est égale à la vitesse qu'il faudrait imprimer à la traverse mobile pour obtenir au galvanomètre une déviation de 45°.

L'expérience n'est pas réalisable sous cette forme, parce que les barres fixes ayant une résistance appréciable, la résistance du circuit changerait à chaque instant. On est donc obligé d'avoir recours à la rota-

tion d'un circuit. C'est la méthode qui a été employée pour déterminer la valeur de l'unité absolue de résistance. On trouvera tous les détails de ces expériences dans les Rapports de la Commission.

RAPPORTS DES DEUX SÉRIES D'UNITÉS.

Si nous comparons les dimensions de l'unité de quantité dans chacun des deux systèmes, nous voyons que :

$$q = \frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T} \qquad\qquad Q = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}},$$

par conséquent :

$$\frac{q}{Q} = \frac{L}{T},$$

c'est-à-dire que le rapport des dimensions des deux unités de quantité est une *vitesse*.

On trouvera de même :

$$\frac{i}{I} = \frac{L}{T} \qquad \frac{e}{E} = \frac{1}{\frac{L}{T}} \qquad \frac{r}{R} = \frac{1}{\left(\frac{L}{T}\right)^2} \qquad \frac{c}{C} = \left(\frac{L}{T}\right)^2$$

Ces rapports sont indépendants de l'unité de masse et ne dépendent que d'une quantité qu'on peut assimiler à une vitesse.

Le professeur Everett (Centimetre — Gramme — Second, — System of Units) explique de la manière suivante les rapports entre les deux séries d'unités.

Dans le système CGS, l'unité de longueur égale 1 centimètre; l'unité de masse égale masse de 1 gramme; l'unité de temps égale 1 seconde.

Considérons un autre système dans lequel :

Unité de longueur = L centimètres;
Unité de masse = M masses de 1 gramme;
Unité de temps = T secondes.

Dans ce nouveau système, l'unité électro-statique de quantité sera égale à $\frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T}$ unités CGS.

La nouvelle unité électro-magnétique de quantité sera égale à $L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}$ unités CGS.

On peut évidemment choisir L et T, de telle sorte que la nouvelle unité électro-statique soit égale à la nouvelle unité électro-magnétique.

Posons :

$\frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T}$ unité électro-statique CGS = $L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}$ unité électro-magnétique CGS

se divisant par $M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}}$,

$\frac{L}{T}$ unité électro-statique CGS = 1 unité électro-magnétique CGS.

$\frac{L}{T}$ est évidemment la valeur en centimètres par seconde de la vitesse qui serait représentée par l'unité dans notre nouveau système. C'est une valeur concrète définie indépendante du choix des unités fondamentales. On la désigne par v.

On aura donc :

$$\frac{q}{Q} = v; \quad \frac{i}{I} = v; \quad \frac{e}{E} = \frac{1}{v}; \quad \frac{r}{R} = \frac{1}{v^2}; \quad \frac{c}{C} = v^2,$$

Le professeur Maxwell (Electricity and Magnetism) a démontré par l'analyse que cette grandeur v a une existence physique et représente la vitesse avec laquelle une perturbation électro-magnétique se propage à travers l'espace. Sa valeur n'a jamais été mesurée directement, mais il est possible d'y arriver d'une façon indirecte en déterminant les valeurs d'une même grandeur électrique en unités électro-statiques et en unités électro-magnétiques. Ces grandeurs étant au nombre de cinq, v peut être déterminé par cinq méthodes différentes dans le détail desquelles nous ne pouvons entrer ici. (Voir *Report of the Committer*, etc.)

La valeur la plus probable trouvée pour v est 298,570 kilomètres par seconde. Ce nombre diffère assez peu de celui qui exprime la vitesse de la lumière pour qu'on puisse concevoir qu'ils sont identiques et ont une origine commune. C'est l'hypothèse proposée par Maxwell. Dans la pratique on peut prendre $v = 300{,}000$ kilomètres ou 3×10^{10} centimètres par 1″.

1	Unité électro-magnétique	de quantité	=	v	unités électro-statiques
1	Id.	de courant	=	v	id.
1	Id.	de capacité	=	v^2	id.
v	Unités électro-magnétiques	de potentiel	=	1	unité électro-statique.
v^2	Id.	de résistance	=	1	id.

Dimensions des cinq unités principales.

DÉSIGNATION.	DIMENSIONS dans le système ÉLECTRO-STATIQUE.	DIMENSIONS dans le système ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE.	RAPPORT $\frac{\text{Dim. électro-statique}}{\text{Dim. électro-magnétique}}$
QUANTITÉ...........	$\frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T}$	$L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}$	v
COURANT...........	$\frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T^2}$	$\frac{L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T}$	v
CAPACITÉ..........	L	$\frac{T^2}{L}$	v^2
POTENTIEL.......... FORCE ÉLECTRO-MOTRICE.	$\frac{L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T}$	$\frac{L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}}}{T^2}$	$\frac{1}{v}$
RÉSISTANCE.........	$\frac{T}{L}$	$\frac{L}{T}$	$\frac{1}{v^2}$

$v \times 3 \times 10^{10}$ centimètres par seconde.

UNITÉS ADOPTÉES DANS LA PRATIQUE

Ainsi que nous l'avons dit les trois unités fondamentales adoptées pour la mesure absolue des quantités électriques sont le centimètre, la masse de un gramme, la seconde. Mais la grandeur des diverses unités du système CGS n'est pas dans un rapport commode avec celle des quantités à mesurer dans la pratique. Certaines de ces unités sont trop petites, d'autres sont trop grandes et leur emploi conduirait à des nombres peu commodes à manier. On a obvié à cet inconvénient en multipliant les unités trop petites par une puissance de 10 convenable et en divisant les autres par une puissance de 10. On s'est ainsi trouvé conduit à modifier la grandeur des unités fondamentales, et afin d'abréger le discours, on a donné un nom particulier à chacune de ces unités modifiées dans le système électro-magnétique, le seul qui soit usité dans la pratique.

Comme nouvelle unité de longueur on a pris le quart du méridien,

10 millions de mètres ou 10^9 centimètres, et comme unité de masse la masse de $1/10^{11}$ gramme l'unité de temps restant la seconde.

Pour savoir combien les nouvelles unités contiennent d'unités du système CGS il faudra dans les expressions qui donnent les dimensions de ces unités poser

$$L = 10^9 \quad M = 10^{-11} \quad T = 1$$

UNITÉ DE RÉSISTANCE. — L'unité adoptée pour la mesure pratique des résistances a reçu le nom de *Ohm;* elle équivaut à 10^9 unités CGS — Sa grandeur a été arrêtée en 1864 par la Commission de l'Association britannique chargée de la déterminer et de fixer matériellement l'étalon. — Le Congrès de cette année a décidé qu'une commission internationale serait chargée de déterminer à nouveau la valeur absolue de l'Ohm. Sa représentation matérielle actuelle est la résistance à 0°C d'une colonne de mercure pur ayant un millimètre carré de section et 1^m,0486 de longueur. — L'unité mercurielle Siemens équivaut à 0,9536 Ohm.

Pour les très grandes résistances on emploie la dénomination de *Megohm* (1 million d'Ohms) et pour les très petites résistances celle de *Microhm* (1 millionième de Ohm).

Les bobines de résistance dont on se sert dans la pratique sont généralement formées par des fils de maillechort ou d'un alliage platine-argent.

UNITÉ DE FORCE ÉLECTRO-MOTRICE. — Elle a reçu le nom de *Volt* et vaut 10^8 unités CGS. Elle n'a pas de représentation matérielle exacte. Un élément Daniell a une force électro-motrice de 1.12 Volt environ. Celle d'un élément de Grove est de 1.942 Volt. M. Latimer Clark a construit un élément zinc-mercure dont la force électro-motrice 1.457 Volt reste constante, à la condition qu'on n'emploie pas cet élément pour produire un courant. — On a ainsi un étalon de force électro-motrice qui peut rendre des services dans la pratique.

UNITÉ DE COURANT. — Cette unité, désignée jusqu'ici sous le nom de Weber, vient de recevoir celui de *Ampère;* elle vaut 1/10 unité CGS. C'est l'intensité du courant produit par la force électro-motrice de 1 Volt dans un circuit dont la résistance totale est de 1 Ohm. L'intensité d'un courant peut aussi se déterminer directement au moyen d'un galvanomètre absolu d'un électro-dynanomètre ou du voltamètre.

UNITÉ DE QUANTITÉ. — Cette unité vient de recevoir le nom de *Coulomb*, elle vaut 1/10 unité CGS : c'est la quantité transportée en une seconde par un Ampère.

UNITÉ DE CAPACITÉ. — La capacité d'un condensateur qui contient un Coulomb lorsqu'il est chargé au potentiel de 1 Volt, s'appelle le *farad* $= 1/10^9$

unité CGS. Mais cette unité est encore trop grande pour la pratique et l'on emploie le *Microfarad* qui est la millionième partie de farad. 1 Microfarad $= 1/10^{15}$ unité CGS. On trouve dans le commerce des condensateurs jaugés en multiple et sous-multiples du Microfarad, et il existe en outre une méthode simple pour déterminer directement la capacité d'un condensateur.

Nous terminerons cet exposé par un tableau de quelques-unes des constantes les plus usitées dans les calculs.

Accélération de la pesanteur.— D'après le Bureau international des poids et mesures l'accélération de la pesanteur,

$$g = 9^m,8061\,[1 - 0,005529 \cos 2\lambda]\,[1 - 0,000,000196\,H],$$

λ latitude du lieu, H sa hauteur en mètres au-dessus du niveau de la mer.

A Paris on peut prendre $g = 9^m,81$ $\frac{1}{g} = 0,102.$

Unités mécaniques usuelles.

1 *kilogramme* $= 9,81 \times 10^5$ dynes.
1 *kilogrammètre* $= 9.81 \times 10^7$ ergs,
1 *cheval-vapeur* $= 7,36 \times 10^9$ ergs,

La *hauteur barométrique* de 76 cent. de mercure à 0° représente pour Paris, $1,0136 \times 10^6$ dynes par centimètre carré.

A une pression de 10^6 dynes ou 1 mégadyne par centimètre carré, correspond pour Paris une hauteur barométrique de 74,98 centimètres.

D'après les dernières expériences de Joule, l'équivalent mécanique de la chaleur est égal à :

$$4,214 \times 10^7 \text{ ergs par gramme-degré centigrade.}$$

Dans le système des unités pratiques (L $= 10^9$ centimètres.

M $= \frac{1}{10^{11}}$ masse de (1 gramme, T $=$ 1 seconde).

1 kilogramme $= 9.81 \times 10^7$ unités de force.
1 kilogrammètre, $=$ 9.81 unités de travail,
1 cheval-vapeur, $=$ 736 unités de travail,
id. $=$ 175 grammes-degrés.
1 gramme-degré $=$ 4.214 unités absolues de travail,
1 unité absolue de travail $=$ 0,2373 gramme-degré.

Unités électriques.

1 Volt $= 10^8$ unités électro-statiques CGS de potentiel.
1 Ohm $= 10^9$ id. id. de résistance.
$= 10^9$ centimètres par seconde.
$=$ quart du méridien de Paris par seconde.

1 Ampère $= \frac{1}{10}$ unité électro-statique CGS de courant.

1 Coulomb $= \frac{1}{10}$ id. id. de quantité.

1 Farad $= \frac{1}{10^9}$ id. id. de capacité.

1 Microfarad $= \frac{1}{10^{15}}$ id. id id.

$v = 3 \times 10^{10}$ centimètres par seconde.
$=$ 300,000 kilomètres par seconde.
$=$ 30 Ohms.

L'équivalent électro-chimique de l'eau dans le système CGS étant de 0,00092 grammes en 1″, celui d'une substance quelconque est :

$$0^{gr},00092 \times \frac{\text{Poids atomique de la substance}}{18}.$$

1 $\frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}}$ décompose 0^{gr}.000,092 d'eau en 1″.

id. consomme $0^{gr},000,092 \times \frac{65}{18} = \frac{1^{gr}}{3000}$ Zinc en 1″.

id. développe 1 unité absolue de travail en 1″, ou 0,102 kilogrammètres en 1″.

1 cheval-vapeur $= 736 \frac{\text{Volts}}{\text{Ohm.}}$

Notes sur la 4e Visite.

CLASSE 5.

Électrométrie. — Appareils servant aux mesures électriques.

La visite se fait sous la direction de MM. Monnier et Hospitalier. — On s'arrête successivement aux expositions suivantes:

Grande-Bretagne. — *Elliot* (*Brothers*). — M. Hospitalier montre aux sociétaires différents types de galvanomètres et de galvanoscopes. On sait la différence qui existe entre ces deux genres d'appareils, les premiers servent à évaluer l'intensité d'un courant, les seconds ont simplement pour but de prouver son existence.

Les galvanoscopes consistent en une bobine renfermant un certain nombre de tours de fil métallique isolé par de la soie et entourant une aiguille de déclinaison ou d'inclinaison qui oscille sur un pivôt central. On augmente la sensibilité de l'appareil par l'emploi d'une suspension en fil de cocon et d'un couple d'aiguilles astatiques. Pour éviter l'orientation de l'instrument on le munit d'un aimant directeur qui ramène l'aiguille au zéro quand le courant cesse de passer.

Les galvanomètres sont de deux types: la boussole des Sinus et la boussole des tangentes.

Dans la boussole des Sinus, le cadre est mobile autour d'un axe vertical, quand le courant fait dévier l'aiguille, on tourne le cadre en la suivant jusqu'à ce qu'elle s'arrête dans son plan et on lie l'angle dont le cadre a tourné. L'inconvénient de l'appareil est que son emploi se restreint jusqu'à la mesure d'une certaine intensité finie.

Dans la boussole des tangentes le courant est fixe et on lit la déviation de l'aiguille. Le courant peut avoir une intensité quelconque. Mais il faut rappeler que la théorie de cet appareil admet que les pôles de l'aiguille restent toujours à la même distance des diverses parties du courant, il faut donc que l'aiguille soit très petite, que le cadre soit circulaire et de très grand diamètre.

Après avoir examiné les divers galvanomètres à réflexion, M. Hospitalier expose les principes sur lesquels reposent la construction des appareils servant à la mesure des résistances. L'évaluation d'une résistance quelconque se fait en introduisant dans son circuit une bobine dite de

résistance présentant une *résistance connue.* Le fil de cette bobine est recouvert de soie puis enroulé en double, c'est-à-dire en commençant par le milieu afin que les courants induits qui circulent dans une moitié soient détruits par ceux qui circulent dans l'autre moitié.

On examine une série d'étalons et des copies de l'unité B A. Dans ces appareils le fil qui est en maillechort, quelquefois en platine iridium, a une longueur de 1 à 2 mètres et un diamètre de 0,5 à 0,8 millimètres. Les extrémités de ce fil sont soudées à des barres de cuivre, on a eu soin de le recouvrir de deux couches de soie que l'on enduit de paraffine, le fil est renfermé dans une cage de laiton mince afin de pouvoir être plongé dans l'eau et prendre la température pour laquelle la résistance est véritablement d'une unité.

Une série d'étalons gradués constitue une boîte de résistance. Les extrémités du fil de chaque bobine sont soudées à des plaques de cuivre séparées les unes des autres par des trous que l'on peut boucher avec des chevilles de laiton à tête isolante. On introduit une bobine dans le circuit en retirant la cheville du trou correspondant, on la supprime au contraire en enfonçant la cheville. Les différents types de boîtes peuvent donner suivant les combinaisons des chevilles toutes les résistances comprises entre 1 et 10,000. — Les rhéostates qui ont le plus fixé l'attention des sociétaires sont ceux de MM. Thomson et Vorley. Après cette exposition on passe successivemenent en revue les quatre suivantes :

Latinier Clarck, Muishead. — Galvanomètres astatiques à miroirs de Thomson. — Caisses de résistance. — Galvanomètres des tangentes de Schwendler.

Siemens et Halske. — Galvanoscopes à aimant recourbé de voyage et de poche. — Galvanomètres. — Galvanomètre pour épreuve de pile : Boussoles des tangentes et des Sinus. — Galvanomètre astatique. — Galvanomètre à miroir astatique à disposition différentielle.

Électro-dynamomètres : pour courants de machines et pour courants de téléphones.

Résistances ; Unité Siemens en mercure et en fil.

Boîtes de résistance, 0,1 à 100 U. S, de 1 à 5,000 U. S, de 1 à 10,000 U. S.

Résistances de dérivation. — Résistances de 100,000 à 100 millions U. S.

Ponts de résistance : universel. — A fil de platine argent, — à bobines, — à fil tendu, — pour la mesure des résistances et des capacités.

France. — *Breguet.* — Galvanomètre à suspension et à réflexion. — Systèmes astatiques différentiels. — Galvanomètre M. Desprez. — Caisses de résistance. — Électromètre capillaire de G. Lippmann. — Rhéostat de Whestone, de Pouillet de Poggendorf, de Ed. Becquerel.

CHRONIQUE

Sommaire. — Atelier d'essais pour locomotives. — Statistique des chemins de fer anglais. — Ventilation des tunnels en percement. — Médaille du Gothard. — Hydromoteurs pour la petite industrie. — Antiquité des marques de fabrique. — Coût du travail des divers moteurs. — École polytechnique de Zurich. — Le canal de l'Érié.

Atelier d'essais pour locomotives. — Notre collègue, M. A. Borodine, ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer Sud-Ouest Russes, à Kiew, vient de donner dans l'*Organ*, un résumé d'un important mémoire publié par lui sur le travail mécanique des locomotives et l'utilisation du combustible dans ces machines.

L'auteur s'est trouvé, tant par la nature du service de ses lignes et par celle des combustibles de provenance minérale et végétale qui y sont employés, que par son désir d'améliorer les conditions de fonctionnement de son matériel de traction, amené à faire de très nombreuses expériences sur les locomotives. Il a entre autres essais appliqué récemment les enveloppes de vapeur à certaines machines et le fonctionnement Compound à d'autres, et il a pu constater qu'il était très difficile, ou pour mieux dire à peu près impossible, d'arriver à apprécier l'influence d'un élément sur les résultats d'une machine au moyen d'expériences faites en service, parce que, s'il s'agit de résultats comparatifs, les circonstances diverses qui se produisent en marche et qui sont de nature à exercer sur les résultats des influences perturbatrices, ne peuvent être reproduites identiquement dans divers essais successifs.

M. Borodine s'est donc proposé, pour étudier la locomotive uniquement comme machine à vapeur, de la placer dans des conditions où elle ne fonctionnât que comme machine à vapeur, en éliminant toutes les causes d'incertitude provenant de l'emploi de la machine comme appareil de traction.

Il a, dans ce but, établi à Kiew un atelier spécial d'essais dans lequel la machine à essayer est disposée sur des chantiers, les roues sont découplées et les roues motrices transformées en poulies-volants, ce qui peut s'opérer très facilement, soit en garnissant les roues d'une jante en bois, soit en disposant pour chaque série de machines un essieu ayant des roues avec un bandage en forme de jante de poulie.

Ces poulies commandent par des courroies un arbre portant un frein de Prony; ce frein, à circulation d'eau, doit absorber le travail de 250 à 300 chevaux, à une vitesse d'environ 100 tours par minute.

Il est facile de comprendre que la mesure du travail du frein, le relevé de courbes d'indicateur sur les cylindres, le jaugeage de l'eau d'alimentation et la pesée du combustible permettent de se rendre compte, d'une manière précise et rigoureusement exacte, de l'effet utile de l'appareil, dans toutes les conditions qu'on veut de pression, d'introduction, de vitesse, etc., et qu'on peut ainsi élucider des questions d'un intérêt capital sur lesquelles les expériences faites en service ne donnent que des aperçus très vagues et très discutables, qui présentent pour la plupart des anomalies de nature à en discréditer singulièrement la valeur, quels que soient le mérite et le zèle des expérimentateurs.

Les questions que M. Borodine se propose d'étudier se rattachent à trois ordres d'idées :

1° Valeur d'un combustible en lui-même;

2° Utilisation du combustible dans une chaudière de locomotive et meilleures conditions de combustion et de vaporisation;

3° Utilisation de la vapeur produite dans l'appareil moteur de la locomotive et étude des diverses circonstances qui s'y rattachent.

1° L'étude de la valeur relative des combustibles peut être faite comme dans les essais bien connus de Scheurer-Kestner, et comme à l'atelier d'essais des combustibles à Münich [1], en mesurant le calorique dégagé par la combustion d'un poids donné de ce combustible. Ici se présente une question, c'est celle de la détermination de la proportion d'eau entraînée avec la vapeur, question qui joue un grand rôle dans les locomotives, quoique son importance ait presque toujours été exagérée.

La méthode la plus simple à employer est celle de M. Hirn, qui consiste à condenser dans un poids d'eau connu de la vapeur à essayer; si on mesure l'augmentation de poids de l'eau et son échauffement, on pourra obtenir, par un calcul très simple, la proportion d'eau à l'état liquide contenue dans la vapeur.

On conçoit que, si des expériences d'une nature aussi délicate sont à peu près irréalisables sur une locomotive en service, rien n'est au contraire, plus facile à pratiquer sur une machine fixe, et, dans l'espèce, c'est en réalité sur une machine fixe qu'on opère.

On peut supposer que, si le travail est constant pendant la durée d'un essai, la combustion et la vaporisation varieront peu et que la proportion en eau de la vapeur sera sensiblement la même, il suffira donc en général de mesurer cette proportion une seule fois par essai. Si cependant cette proportion devait varier dans des limites assez importantes, on pourrait apprécier cette variation par la disposition suivante :

Le filet de vapeur à analyser provenant de la chaudière est condensé dans un vase où l'eau froide arrive d'une manière continue par un orifice, tandis que l'eau chaude sort, également d'une manière continue, par un

1. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 3e et 4e numéro de 1880.

autre orifice; si on constate par des observations préalables le débit de ces orifices, on conçoit facilement qu'on pourra apprécier la proportion d'eau contenue dans la vapeur en fonction de la hauteur du niveau d'eau dans le récipient où se fait la condensation et de la température de l'eau après le mélange, la température de l'eau froide et celle de la vapeur de la chaudière étant supposées constantes pour plus de simplicité.

Des observations relativement faciles à faire sur la chaleur entraînée par les gaz de la combustion et sur les parties échappées à celle-ci, ainsi que sur leur proportion, permettent de connaître les valeurs absolues et comparatives des combustibles.

2° L'installation décrite est très utile pour apprécier toutes les questions relatives soit aux diverses parties d'une chaudière, grille, cheminée, grilles à flammèches, position et forme de l'échappement, etc., soit au service de la chaudière et à la conduite du feu et de l'alimentation, toutes questions fort difficiles à étudier sur des machines en marche sur des voies de chemin de fer.

3° Enfin, l'étude du fonctionnement de l'appareil moteur et de l'utilisation de la vapeur devient extrêmement simple et on peut ainsi analyser les phénomènes qui se produisent dans les cylindres, absolument comme on le fait dans nos machines fixes, en employant les méthodes devenus classiques, dues aux beaux travaux de MM. Hirn, Leloutre, Hallauer, etc. On peut ainsi se rendre un compte exact de l'influence des divers systèmes de distribution, de l'action des enveloppes de vapeur, de l'avantage du fonctionnement Compound, des modifications d'effet utile avec la vitesse, des résistances propres du mécanisme[1], etc., et en premier lieu de ce point si souvent discuté et sur lequel il a été émis des assertions si contradictoires, la valeur de la locomotive comme machine à vapeur, c'est-à-dire sa dépense moyenne en eau et en combustible par unité de puissance produite.

Toutes ces questions capitales pourront, dans l'atelier d'essais de Kiew, s'élucider dans un temps relativement court et d'une manière suffisamment exacte alors qu'avec les méthodes d'essais en service, il faudrait des années pour arriver à des approximations. Ces expériences sont en cours d'exécution et nous espérons avoir prochainement les premiers résultats. Elles jetteront certainement un jour important sur des questions peu connues et d'un intérêt de premier ordre et l'industrie des chemins de fer devra une grande reconnaissance à M. Borodine pour en avoir pris l'initiative.

Statistique des chemins de fer Anglais pour 1880. — Bien que les rapports officiels du *Board of Trade*, relativement aux résultats

1. Cette question mériterait à elle seule une étude approfondie; on a pu voir en effet, tout récemment, dans une publication autorisée, deux auteurs évaluer à quelques pages de distance la résistance d'un mécanisme de locomotive à des pourcentages plus que double l'un de l'autre.

d'exploitation des chemins de fer du Royaume-Uni pour 1880, ne soient pas encore publiés, voici d'après le *Journal of the Society of Arts*, les chiffres les plus intéressants.

Longueur des chemins de fer en exploitation :

1878.	28,491 kilomètres.
1880.	28,691 —

Capital effectif en actions et obligations :

1879.	17,925 millions de francs.
1880.	18,215 —

Nombre de voyageurs transportés (non compris les billets de saison) :

1879.	562,732,890
1880.	603,884,752

Nombre de voyageurs par kilomètre :

1879.	19,800
1880.	20,900

Recettes brutes de l'exploitation :

1879.	1,485 millions de francs.
1880.	1,549 —

Recettes brutes par kilomètre exploité :

1879.	52,100 fr.
1880.	53,950 —

Dépenses d'exploitation :

1879.	801 millions de francs.
1880.	837 —

Recettes nettes :

1879.	743 millions de francs.
1880.	755 —

Ventilation des tunnels en percement. — L'*Eisenbahn* a donné le résumé de quelques observations intéressantes faites sur ce sujet au tunnel de Pfaffensprug de la ligne du Gothard. Ce tunnel (voir Chronique de mai 1881, page 572) est en hélice et est percé dans des roches escarpées formées principalement de gneiss très dur. Le flanc de la montagne est sillonné par deux torrents, dont l'un a son lit dans du schiste ardoisier.

A une faible distance de la surface l'accroissement de température était de un degré centigrade par 32 mètres.

La rapidité du renouvellement de l'air dépend de la différence entre la température moyenne dans le tunnel et la température à l'extérieur ; le

courant est produit par la différence de poids de colonnes d'air de même hauteur à l'intérieur et à l'extérieur du tunnel et varie proportionnellement à cette différence. La température intérieure varie peu parce que, dès l'entrée, l'air qui afflue acquiert la température de la roche qui forme les parois du tunnel. L'air extérieur ainsi chauffé monte et sort par le haut, de sorte qu'il n'y a qu'une partie de l'air qui entre, qui pénètre jusqu'au front d'avancement et que la quantité d'air frais qui pénètre dans une section donnée diminue avec la distance de cette section à l'entrée. Au bout de la galerie l'air n'est plus frais, il est humide et s'est mélangé avec les gaz des explosions et la fumée des lampes. La rapidité du courant d'air de retour par la voûte s'accroît à mesure qu'il arrive à l'entrée et cet air chauffé d'abord se refroidit et laisse condenser l'eau dont il est saturé sous forme de brouillard. L'air peut être considéré comme stagnant dans la galerie à 600 mètres de l'entrée.

Lorsque la galerie est percée de bout en bout, la circulation de l'air est très active. Si la température extérieure dépasse 15 degrés centigrades, elle est faible dans les parties les plus éloignées des entrées et les gaz de la poudre et la fumée des lampes sont gênants ; dans les fronts d'attaque la circulation s'effectue dans un sens inverse de celui qui a lieu à une température inférieure.

L'air extérieur, relativement chaud, entre par la voûte, se refroidit contre les parois et sort au niveau du sol.

Une basse température à l'extérieur agit favorablement plutôt en attirant l'air froid qu'en favorisant la circulation. C'est par une température extérieure de 16 degrés centigrades que la ventilation naturelle est la plus faible, au-dessous elle a lieu dans un sens, au-dessus dans l'autre, et on peut dire qu'il est heureux que cette température de 16 degrés se présente rarement dans les pays de montagne. Il fait toujours plus froid en hiver et plus chaud le jour et plus froid la nuit en été.

On a employé principalement de la gélatine explosive dont les produits sont de la vapeur d'eau, de l'oxygène libre, de l'acide carbonique et de l'azote.

L'acide carbonique, le seul qui puisse avoir un effet fâcheux, tend à descendre au sol, tandis que l'air frais arrive au-dessus. L'explosion n'élève la température que de 18 à 20 degrés.

La température dans une galerie dépend : 1° de la température propre du terrain ; 2° de la production de chaleur des lampes ; 3° de la chaleur et de la respiration des ouvriers ; 4° de l'importance et de la température du courant de ventilation.

L'influence capitale est celle du terrain et en somme la différence entre celle-ci et celle du tunnel ne peut jamais être bien considérable. Les hommes et les lumières élèvent la température au-dessus de celle de la montagne, mais dès que la différence devient sensible les parois opèrent par absorption si rapidement que son influence et celle du courant de ventilation compensent

cette cause d'échauffement. On peut évaluer l'importance de ces facteurs comme suit :

1° Chaleur du terrain : la température de celui-ci étant moindre que celle de la galerie, le sol absorbe de la chaleur ; on peut admettre 8 à 9 calories par minute ;

2° Lampes : les lampes de galeries brûlent 15,5 grammes d'huile à l'heure ; trois lampes donnent 8,5 calories par minute ;

3° Chaleur provenant des ouvriers : huit hommes dégagent 3,5 calories par minute ;

4° On peut négliger la chaleur produite par la respiration qui est insignifiante.

L'influence de la chaleur dégagée par les ouvriers est à celle des lampes comme 1 à 6, c'est-à-dire qu'une lampe dégage autant de chaleur que six hommes. Mais cette influence augmente ou diminue avec la différence entre la température du corps et la température extérieure. Elle devient nulle vers 32 degrés centigrades.

Médaille du Gothard. — On frappe en ce moment à la Monnaie de Paris la médaille du Gothard, dont un exemplaire en bronze sera délivré à chaque ouvrier sans exception. Cette médaille représente d'un côté les trois écussons réunis de l'Italie, de l'Allemagne et de la Suisse ; au revers sont gravés en langues italienne et allemande ces mots « Aux ouvriers du tunnel du Gothard » avec la date de l'achèvement du tunnel. Bien que le document auquel nous empruntons cette nouvelle ne mentionne que les langues allemande et italienne, il nous semble improbable qu'on ait oublié le français, langue de l'entrepreneur de ce grand travail et de son haut personnel.

Hydromoteurs pour la petite industrie. — Notre collègue M. Th. Turrettini, a donné dans le *Journal suisse d'Horlogerie* une intéressante notice sur les hydromoteurs destinés à la petite industrie, dont nous reproduisons ci-après la partie essentielle.

L'application de l'eau canalisée comme transmission de force motrice est connue depuis longtemps, mais ce n'est guère que depuis une dizaine d'années, que l'emploi s'en est répandu dans la petite industrie.

La ville de Genève a été des premières à entrer dans cette voie nouvelle, et le développement qu'y a pris l'usage des hydromoteurs dans tous les genres d'industrie prouve, mieux que toute autre démonstration, l'utilité et la commodité de ce moyen de transmission.

Il faut reconnaître que la ville de Genève se trouvait dans des conditions exceptionnellement favorables pour permettre l'emploi de ce mode de force motrice.

L'eau du Rhône dont elle dispose est d'une limpidité remarquable et cause fort peu d'usure dans les appareils ; de plus la différence de niveau

considérable entre les hauts et les bas quartiers nécessite, pour une alimentation régulière, une pression de 4 1/2 à 5 atmosphères, qui est parfaitement convenable pour son emploi dans les hydromoteurs.

En outre, les autorités municipales ont compris de suite l'avantage que la ville, qui vend l'eau, pourrait retirer, au point de vue financier, de cette nouvelle source de revenus, qui faciliterait en même temps le développement de bien des industries.

La ville s'est déclarée prête à vendre l'eau industrielle à un prix de moitié du coût de l'eau destinée aux usages domestiques. Ce prix industriel varie de 5 à 8 centimes le mètre cube, suivant l'importance de la consommation annuelle.

Au prix de 5 centimes le mètre cube, et étant donnée la pression effective de 4 1/2 atmosphères dans les conduites, le prix de revient du cheval de force est de 35 centimes l'heure.

Les systèmes mécaniques, destinés à transformer en force motrice le débit d'eau sous pression, sont multiples aujourd'hui.

Il n'entre pas dans le cadre de ce travail de les décrire tous; nous nous bornerons à parler de ceux qui paraissent avoir donné les résultats pratiques les plus avantageux, soit au point de vue du rendement, soit au point de vue de la simplicité, de la solidité et du peu de frais d'entretien.

Nous pouvons dès l'abord subdiviser en deux classes distinctes les hydromoteurs destinés à la petite industrie, savoir :

1° Les appareils dits à colonne d'eau, basés sur le principe d'un ou plusieurs pistons se mouvant dans un ou plusieurs cylindres sous l'influence de la pression de l'eau; ce piston agit avec un mouvement de va-et-vient sur une manivelle, qui donne à un arbre un mouvement de rotation continu;

2° Les appareils basés sur le principe de la turbine ou de la roue tangentielle, où la puissance vive de l'eau est transformée en travail moteur, par sa destruction dans les palettes d'une roue dont l'axe sert d'arbre de couche.

Le premier système présente sur le second les avantages suivants :

1° Le rendement utile est supérieur de 10 à 15 pour 100 et peut atteindre 80 à 85 pour 100;

2° Comme l'eau se vend généralement au mètre cube dépensé, et que, par conséquent, il faut pouvoir jauger la quantité d'eau débitée par le moteur en marche, le système à cylindre présente l'avantage de servir lui-même de compteur d'eau, chaque cylindre correspondant à une quantité d'eau parfaitement déterminée.

Il suffit donc, pour connaître l'eau débitée, d'enregistrer le nombre de révolutions du moteur au moyen d'un compteur de tours posé sur la machine.

Il ne peut en être de même avec le système de la turbine, où la dépense

d'eau n'est pas dépendante de la vitesse de rotation. Il faut donc munir la canalisation d'arrivée à la turbine d'un compteur d'eau spécial, qui a toujours l'inconvénient de réduire quelque peu la pression effective;

3° Les moteurs hydrauliques à cylindres ont une marche normale de 100 à 150 tours par minute. Cette vitesse correspond aux vitesses usitées sur les arbres de transmission. Les diamètres des poulies de commande sont donc sensiblement les mêmes. Il n'en est pas de même avec les turbines dont la vitesse de rotation atteint 1000 tours par minute, ce qui nécessite de grandes différences entre les diamètres des poulies en rapport.

Par contre, le moteur à cylindre, dans ses types usuels, présente l'inconvénient de débiter, pour chaque tour, une quantité d'eau constante, quel que soit le travail nécessaire; la dépense d'eau n'est donc pas proportionnelle au travail.

Cet inconvénient a conduit les inventeurs à chercher un dispositif mécanique qui proportionne automatiquement la quantité d'eau au travail, en faisant varier la course des pistons et par conséquent le débit.

MM. Hastie et Cie ont heureusement résolu ce problème, comme on le verra plus loin.

La régularisation de la vitesse de rotation des hydromoteurs est nécessaire pour tous les cas où le travail à produire n'est pas parfaitement constant. Le nombre des régulateurs adaptés à ce but est considérable et nous n'entrerons pas ici dans leur description; il suffit de constater que le problème a été résolu d'une manière simple et que chaque système peut s'appliquer à tous les genres de moteurs hydrauliques. Comme nous l'avons dit plus haut, nous allons décrire rapidement les divers hydromoteurs qui paraissent résoudre le mieux le problème de la distribution de force hydraulique à la petite industrie. Ce sont :

1° *Le moteur Schmid*, ainsi désigné d'après le nom de son inventeur, constructeur à Zurich, membre de notre Société. Ce moteur est celui qui paraît maintenant le plus répandu. Une centaine de ces appareils fonctionnent à Genève. Il est du système à cylindre ou colonne d'eau, sans variation dans la dépense d'eau par tour.

Le moteur Schmid se compose d'un bâti dans lequel se trouvent ménagés les conduits d'entrée et de sortie de l'eau, d'un cylindre oscillant maintenu sur la table de distribution par deux leviers articulés servant de paliers aux tourillons d'oscillation du cylindre et reliés à leur extrémité au bâti par deux tiges filetées, d'un arbre coudé avec volant, d'un piston avec sa tige servant de bielle motrice.

L'eau sous pression arrive par un des côtés du bâti dans l'orifice central de la table de distribution et pénètre dans le cylindre, tantôt d'un côté du piston, tantôt de l'autre, suivant la position du cylindre qui, pendant son oscillation, agit comme un tiroir de machine à vapeur; l'échappement de l'eau s'opère par l'arrière du bâti.

Un réservoir d'air installé sur l'arrivée de l'eau amortit les coups de

bélier et donne à la machine une douceur de marche suffisante pour qu'elle puisse marcher à des vitesses de 200 à 250 tours par minute.

Les leviers sur lesquels repose le cylindre sont articulés sur le bâti, près des paliers de l'arbre et les tiges filetées qui les relient à l'autre extrémité permettent de donner au cylindre l'adhérence voulue sur la plaque du tiroir, tout en réduisant les frottements au minimum.

L'entretien de ces moteurs est presque nul; toutes les pièces en sont rustiques et solides, et ils offrent une sécurité indiscutable. Les orifices pour le passage de l'eau sont très grands par rapport à la section du piston et n'ont pas de changements brusques de direction. La simplicité de leur construction les rend peu coûteux et peu sujets à des réparations, à condition que l'eau employée ne soit pas chargée de sable.

Leur installation est peu coûteuse et très simple. Il suffit de les fixer sur un socle de pierre ou de béton placé simplement sur un plancher.

L'effet utile du moteur Schmid, d'après les essais officiels faits par M. le professeur Zeuner, au Polytechnicum de Zurich, atteint 80 à 90 pour 100 de la puissance brute de l'eau. Il présente en outre l'avantage de pouvoir servir de pompe.

2° *Le moteur Hastie*, dû à MM. John Hastie et Cie, de Glasgow, a sur le moteur Schmid l'avantage de modifier la dépense d'eau avec la puissance. Il présente, comme le moteur Schmid, l'avantage de la simplicité et de la solidité; toutefois l'obligation de tenir les cylindres par côté doit amener une usure plus rapide des pièces frottantes.

Le moteur Hastie se compose d'un bâti en fonte, de deux cylindres munis de gros tourillons sur lesquels ils oscillent, d'un plateau manivelle portant un bouton à course variable, auquel sont reliées les deux tiges de piston et d'un appareil régulateur, dont les fonctions consistent à modifier la course de ces pistons suivant la résistance qui doit être vaincue par le moteur. Cet appareil régulateur est logé dans un tambour servant en même temps de poulie motrice.

Le fonctionnement de l'appareil régulateur est le suivant :

Lorsque le moteur est au repos, ou pendant la marche à vide du moteur, le bouton de manivelle occupe sa position extrême la plus voisine de l'axe de l'arbre moteur, correspondant à peu près au tiers de la course du piston. Quand le moteur marche à vide, il n'y a donc que le tiers du volume d'eau dépensé par rapport au débit pour le travail maximum.

A mesure que la résistance croît, la tension qui se produit dans la courroie, en se transmettant à la poulie, a pour effet de comprimer un ressort intérieur et d'augmenter le rayon du bouton manivelle et par suite la course du piston. L'effet inverse se produit lorsque la résistance vient à diminuer.

Ce dispositif est, comme on le voit, des plus ingénieux; mais il complique sensiblement la construction du moteur, dont le prix est le double de celui des moteurs Schmid.

Il faut en outre que le ressort soit disposé pour chaque pression maxima suivant la localité où fonctionne le moteur.

3° *Turbine ou roue tangentielle.* — Nous décrirons le modèle construit par MM. Escher, Wyss et Cie, à Zurich. La turbine est applicable aux hauteurs de chute les plus variées. Le débit peut se régler soit à la main, soit automatiquement, à l'aide d'une sorte de registre circulaire ouvrant ou fermant plus ou moins l'orifice par lequel l'eau est admise.

A l'une des extrémités de l'axe horizontal de la turbine est calé un disque à friction commandant un régulateur centrifuge. Lorsque la vitesse de la turbine devient trop grande, les boules du régulateur s'écartent et font mouvoir de bas en haut diverses articulations, qui ouvrent l'orifice d'un petit cylindre. Ce cylindre, qui est mis en relation par un tuyau avec la conduite d'arrivée de l'eau à la turbine, se remplit et son piston poussé en avant agit par l'intermédiaire d'un levier sur le registre de la turbine; celui-ci en fermant l'orifice d'accès de l'eau, diminue le débit et réduit la vitesse. L'effet inverse se produit si la vitesse vient à se ralentir.

Comme on l'a vu plus haut, la turbine nécessite un compteur d'eau spécial pour jauger sa dépense d'eau.

Il ressort de la description sommaire de ces trois types d'hydromoteurs que chacun d'eux offre certains avantages et certains inconvénients. Ils présentent tous trois l'avantage d'une mise en marche immédiate, d'un prix d'établissement relativement faible et d'une grande facilité d'entretien. Aussi estimons-nous que l'emploi de ce genre de transmission de force est destiné à se vulgariser de plus en plus.

Antiquité des marques de fabrique. — On se demande souvent à quelle époque remonte l'introduction des marques de fabrique, et à cela on peut répondre que leur origine se confond avec celle de l'industrie des nations.

L'ancienne Babylone avait des symboles de propriété, et les Chinois prétendent avoir eu des marques de fabrique mille ans avant l'ère chrétienne. Gutenberg, l'inventeur de l'imprimerie, eut un procès à l'occasion d'une marque de fabrique et le gagna. Dès l'année 1300, le Parlement anglais autorisa les marques de fabrique.

Les poursuites en contrefaçon de marque de fabrique s'appuient sur ce principe que la contrefaçon prive le créateur de sa propriété et trompe le public sur l'origine du produit. Des moyens extraordinaires ont été constamment employés pour protéger les marques des manufacturiers contre l'usage frauduleux qu'on cherchait à en faire.

Dans les anciens temps, on ajoutait la plus grande importance aux marques individuelles des ouvriers, parce que, dans le cas des armuriers par exemple, des existences précieuses dépendaient souvent de la qualité de la main-d'œuvre. Un ancien auteur se plaint de ce que de bons et fidèles soldats furent tués par suite d'une fabrication défectueuse de leurs armes

qui faiblirent pendant la bataille. Aussi, très anciennement déjà, on sentit le besoin d'édicter des lois sévères contre la contrefaçon des marques de fabrique et contre une main-d'œuvre inférieure. Sans des protections de ce genre, le commerce deviendrait bientôt stationnaire, parce qu'il y a relativement bien peu d'objets qui puissent être acquis sur l'appréciation de leur valeur intrinsèque faite au moment de l'achat.

En général, nous connaissons la qualité des marchandises par l'expérience, et c'est seulement après qu'elles ont été en usage qu'un jugement peut être porté sur leur mérite. Ainsi, après avoir trouvé que les productions d'un certain ouvrier sont bonnes, nous cherchons à nous les procurer de nouveau et, si nous n'avons aucun moyen de reconnaître sa marque de fabrique, tout achat devient une question de pur hasard et les meilleures marchandises perdent de suite une partie de leur valeur. Cela fut découvert de bonne heure, et il est probable que les successeurs de Tubal-Caïn furent les premiers à se servir de marques distinctives sur leurs produits.

(*Journal suisse d'Horlogerie.*)

Coût du travail des divers moteurs. — Voici, d'après le *Journal de la Société des Ingénieurs et Architectes de Hanovre*, la dépense par heure pour obtenir la puissance effective d'un cheval avec divers moteurs :

Machine à vapeur	de 100	chevaux	0f.095
— —	de 2	—	0 550
— à air chaud de Lehmann	de 2	—	0 330
— — de Hock	de 2	—	0 550
— à gaz Otto	de 2	—	0 330
— — Otto et Langen	de 2	—	0 330
Moteur à eau de Schmid	de 2	—	1 200
Chevaux			0 560
Travail de l'homme			2 500

Il est regrettable que ces chiffres ne soient accompagnés d'aucun renseignement sur les prix unitaires du charbon, de l'eau sous pression, de la main-d'œuvre, etc. Pour ce qui est de l'eau, par exemple, on voit que la dépense est trois fois et demie celle qui est donnée par M. Turrettini, page 380, pour un prix très bas, il est vrai (5 centimes le mètre cube pour 45 mètre de charge). Dans l'exemple ci-dessus le prix du mètre cube est probablement évalué à 12 ou 15 centimes, et on tient compte de l'intérêt et de l'entretien.,

École polytechnique de Zurich. — L'Association des anciens élèves de l'École polytechnique de Zurich a tenu sa réunion annuelle à Saint-Gall, le 25 septembre dernier, sous la présidence de notre collègue M. J. Meyer; l'assemblée s'est prononcée en faveur d'une loi sur les brevets d'invention en Suisse.

La liste des anciens élèves compte plus de 1,000 noms et donne des renseignements détaillés sur leur position actuelle et celles qu'ils ont pu occuper antérieurement. Sur un nombre total de 1,076 formant la liste de 1881, il y en a seulement 108 dont l'adresse actuelle est inconnue; 503 sont fixés en Suisse et 463 à l'étranger; il est intéressant de comparer la répartition de ces derniers dans les différents pays, en 1877 et en 1881.

En 1877, il y avait en Allemagne 71 anciens élèves de l'École de Zurich, et 81 en 1881; en Angleterre, les chiffres correspondants sont 9 et 15; en Autriche, 99 et 95; en Russie, 38 et 51; en Amérique, 18 et 31; en Italie, 24 et 36; et enfin en France, 24 et 96. Il n'y a de diminution, fort légère d'ailleurs, qu'en Autriche, tandis qu'en France l'augmentation est considérable, puisque le nombre a quadruplé en cinq ans; c'est de France que l'agence de placement de l'Association reçoit le plus grand nombre de demandes d'ingénieurs, ce qui montre de quelle importance est, pour les élèves de l'École, la connaissance des langues vivantes.

Ce point a été l'un des principaux qui ont été signalés aux autorités fédérales par l'Association des anciens élèves et par la Société suisse des Ingénieurs et Architectes[1], et il est à espérer qu'il en sera largement tenu compte à l'avenir.

L'École doit commencer cette année scolaire, non seulement avec un nouveau règlement (le cours préparatoire est supprimé), mais aussi avec un Conseil de sept membres au lieu de cinq; la loi votée par les Chambres dans la dernière session porte qu'on devra, dans le choix des membres de ce Conseil, tenir compte d'une manière convenable des aptitudes techniques spéciales; on doit donc espérer que les membres du nouveau Conseil seront des hommes connaissant bien les besoins de l'École, versés dans les questions d'enseignement technique et surtout doués de vigueur et de fermeté. Il est aussi nécessaire que la Suisse française y soit convenablement représentée, afin qu'elle ait une garantie qu'il sera sérieusement tenu compte de la recommandation d'augmenter à l'École l'enseignement du français et l'enseignement en français.

Le Canal de l'Érié. — L'*Engineering News* donne un extrait du rapport de M. Horatio Seymour, ingénieur de l'État de New-York sur les canaux de l'État pour l'exercice qui finit le 30 septembre 1880. Ce rapport contient quelques particularités intéressantes dont nous allons donner les principales.

Les craintes qui avaient été conçues relativement au succès financier de cette grande voie de navigation intérieure ne se sont pas trouvées fondées; car le trafic a été dans cette dernière période plus considérable de beaucoup qu'à aucune époque, même qu'à celle où le Mississipi et autres routes par eau étaient barrées par la guerre de la sécession. Il ne restait comme débouché que le canal de l'Érié.

1. Voir Chronique de Juillet 1880, page 94.

Les droits se sont élevés à 5,800,000 francs, soit 1,200,000 francs de plus que l'année précédente, malgré la clôture prématurée et brusque de la navigation.

La raison du trafic énorme qu'on a pu constater est le bas prix du fret; le prix moyen a été pour les grains de 0 fr. 90 par hectolitre, de Buffalo à New-York, droits compris. On voit combien il a été sage de réduire les droits qui, avant 1869, atteignaient presque le prix actuel du fret, droits compris. On doit avoir en vue de réduire le bénéfice élémentaire à mesure que la quantité augmente, et toutes les ressources de la science doivent être mises en œuvre pour abaisser les prix de transport. En 1861, où le fret était à Chicago plus élevé que le prix des grains, beaucoup de fermiers aimaient mieux se servir de ces produits comme combustible. A cette époque les droits de navigation se montaient à 0 fr. 85 par hectolitre, tandis qu'actuellement ils ne sont plus que de 0 fr. 15; il est de l'intérêt de l'État de les abaisser encore. Il faut surtout s'efforcer de procurer à la navigation du fret de retour vers l'ouest, ce qui aurait pour effet de réduire le prix du transport, puisque actuellement tous les bateaux retournent à vide. C'est pour cela qu'il y a deux ans on a diminué les droits sur les marchandises allant vers l'ouest, et qu'on les a même entièrement supprimés sur quelques-unes.

Il y a une question vitale pour le commerce de New-York. Tant que les transports de l'intérieur par voie d'eau se feront par les grands lacs, les canaux de l'Érié et de l'Oswego et le fleuve Hudson, New-York n'a rien à craindre; mais le passé ne garantit pas l'avenir. Philadelphie, Baltimore, Boston et Montréal font tous les efforts possibles pour détourner à leur profit le commerce de New-York. Les chemins de fer y travaillent de leur côté. L'État de Massachussets a exécuté à grands frais le tunnel de Hoosac, et le Canada a commencé et aura achevé dans peu d'années le plus beau réseau de navigation intérieure du monde entier. Dans un temps rapproché les navires anglais de deux mille tonnes de jauge viendront s'amarer dans les docks de Chicago et dans les ports des lacs pour y décharger leurs marchandises et embarquer nos grains. Tandis que nous avons négligé nos communications par eau, le gouvernement anglais a poursuivi avec ténacité le projet qui devait mettre en ses mains une voie d'eau amenant au cœur même de notre pays et faisant de vrais ports de mer des grandes cités des lacs, voie d'eau qui amènera le trafic au Saint-Laurent sous son seul contrôle. Peu d'événements dans ce siècle auront les conséquences commerciales de l'achèvement de ce projet.

De Chicago au pied du lac Érié, les Anglais auront l'usage commun avec nous des grands lacs sur lesquels, dans la dernière saison, les grains ont été transportés à moins de 0 fr. 28 l'hectolitre. Ils n'auront pas à transborder leur chargement comme nous devons le faire sur les bateaux du lac Érié ou sur les wagons des chemins de fer; leurs navires continueront leur route par l'Ontario, le Saint-Laurent et l'Océan jusqu'en Europe, sans avoir à payer d'autres droits que ceux des écluses du canal de Wel-

land et de la rivière au-dessus de Montréal, tandis que sur notre côté les chargements devront subir les frais de transbordement à Buffalo ou Oswego, les droits de canaux ou les tarifs de chemins de fer, plus le magasinage et le chargement à New-York. La confiance des Anglais dans les résultats est telle qu'ils n'ont pas hésité à dépenser 150 millions de francs en plus de 100 dépensés antérieurement, ce qui fait 250 millions pour s'assurer le le transport depuis le centre de notre pays jusqu'aux marchés du monde entier. Le remède contre ce danger imminent serait d'améliorer la route américaine passant par les grands lacs, les canaux de l'Érié et de l'Oswego, et le fleuve Hudson; il y a à enlever les obstructions des passes entre les lacs, à approfondir le port de Buffalo à 7 mètres, ce qui donnerait 2 mètres de tirant d'eau de plus qu'il n'y en a sur le seuil des écluses du canal de Welland. On s'occupe en ce moment de ces travaux.

La meilleure preuve que les grands navires transportent à plus bas prix que les petits, si elle avait besoin d'être faite, serait que le fret de Chicago à Buffalo est la moitié de celui de Buffalo à New-York, bien que la première distance soit double de la seconde. Il serait donc absolument nécessaire d'approfondir le canal de l'Érié. Si on augmente le tirant d'eau de $0^m,30$ [1] la charge actuelle des bateaux pourra être accrue de 50 tonnes et le prix du fret baissera de 14 centimes par hectolitre, ce qui équivaut à la suppression des droits de navigation. L'accroissement de tirant d'eau, sans augmentation de charge, joint à l'emploi de moteurs mécaniques pour la manœuvre des portes d'écluses et des bateaux dans les sas, ferait gagner 37 heures dans le trajet de Buffalo à New-York et retour.

Les courants et la décharge des égouts des localités traversées par le canal ont amené à certains endroits de celui-ci des dépôts considérables qu'on peut estimer à 750,000 mètres cubes, et jusqu'ici on n'a pas enlevé plus du dixième de ce cube par an. On pourrait draguer la totalité de ces dépôts en quatre ans au prix de 0 fr. 80 le mètre cube, et amener le canal à avoir partout $2^m,45$ de tirant d'eau.

Dans un rapport spécial de M. Marvin Porter, ingénieur de la division du centre, on trouve quelques renseignements sur la question du touage par câble [2].

Le câble a été posé entre Syracuse et Utica, en juillet dernier (1880), et il a commencé à fonctionner depuis la fin du même mois jusqu'à la clôture de la navigation avec un médiocre succès, tout en gênant considérablement les autres systèmes de remorquage ou de navigation et en causant des dégâts aux berges et aux murs dans les parties en courbe du canal. Il en résultera une augmentation des dépenses d'entretien dans ces parties.

Le touage à câble ne peut convenir qu'à des cours d'eau larges et droits où les courants seraient trop forts pour les autres systèmes de navigation par la vapeur, et il peut sans aucun doute donner de bons résultats dans

1. Voir Comptes rendus de mai 1880, page 653.
2. Voir Chronique de janvier et mars 1881.

ces conditions; mais dans le canal de l'Érié avec son peu de largeur et ses nombreuses courbes, il ne réussira jamais et son emploi amènera de graves inconvénients pour le trafic du canal et des dommages permanents pour l'État et la ville de New-York.

COMPTES RENDUS

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Séance du 12 Septembre 1881.

Note de MM. de la Tour du Breuil sur un nouveau procédé d'exploitation des mines de soufre.

Les auteurs font observer que les procédés de fusion par les appareils à air chaud et à vapeur surchauffée essayés pour la séparation du soufre de sa gangue n'atteignent que très imparfaitement leur but et que, sauf quelques rares exceptions, le *calcaroni* est resté jusqu'à ce jour le procédé le plus employé. Ils ont eu l'idée d'appliquer le principe de l'élévation du point d'ébullition de l'eau par la présence d'un sel qu'elle tient en dissolution. Le chlorure de calcium se trouvait tout indiqué, par sa fixité, par sa complète inertie en présence du soufre et de sa gangue, à la température de 120 degrés, à laquelle l'opération se fait, et par son extrême bon marché, comme résidu de la fabrication de la soude.

On emploie un bain contenant 66 pour 100 de chlorure de calcium, et on le fait agir dans des cuves rectangulaires sur le minerai. La liquation dure deux heures; il y a deux cuves dont on charge l'une pendant que l'opération se fait dans l'autre, de sorte qu'il n'y a pas d'interruption dans le travail et que le bain passant d'une cuve à l'autre n'est jamais refroidi. Un seul foyer suffit pour les deux cuves.

Les avantages du procédé consistent dans :

1° L'extraction du soufre à très bon marché (5 francs environ par tonne);

2° La grande pureté du produit qui ne donne à l'analyse que 1/2 à 1 pour 100 de résidus terreux et aucune trace d'acide sulfureux ou sulfurique;

3° La possibilité d'opérer toute l'année (la loi italienne ne permet de fondre avec les *calcaroni* que du 30 juin au 15 février), parce qu'il n'y a plus de dégagement d'acide sulfureux;

4° L'extraction presque complète du soufre, dont il ne reste plus que 2 à 3 pour 100 dans la gangue.

Séance du 19 Septembre 1881.

Note de M. Daniel Colladon sur des expériences faites par lui, en 1826, sur les courants électriques produits par des éclairs éloignés du lieu d'observation, et sur des études récentes de M. René Thury sur les bruits des téléphones pendant les orages.

M. Colladon rappelle un fait qu'il a observé et publié à Paris, en 1826, à l'occasion de recherches sur l'électricité atmosphérique, au moyen de son galvanomètre construit pour la mesure des courants électriques produits par les machines à frottement, la décharge des bouteilles de Leyde, celle des torpilles ou des gymnotes, l'électricité soutirée des nuages par des branches d'arbres ou des pointes métalliques, etc.

Il disait dans un mémoire lu à l'Académie, le 26 août 1826 : « Pendant un orage qui eut lieu à quelque distance de Paris, mon galvanomètre eut des déviations qui atteignirent jusqu'à 18 degrés, quoique l'on n'aperçut aucun nuage au-dessus de l'Observatoire jusqu'à 30 degrés du Zenith. »

Des observations récentes de M. René Thury confirment ce fait; cet observateur a disposé un fil de cuivre tendu horizontalement entre deux maisons, à la hauteur des toitures, et communiquant avec la terre au moyen de conduites d'eau métalliques; au fil aérien de 2 millimètres de diamètre et 50 à 60 mètres de longueur, était joint un téléphone dont la résistance mesurait 4.5 Ohms, et un autre appareil semblable de 25 Ohms.

A chaque orage, rapproché ou lointain, le jaillissement des éclairs a toujours été accompagné d'un bruit très caractéristique, perceptible dans les téléphones. Tous les éclairs visibles à l'œil se faisaient entendre dans le téléphone, alors même que l'on ne pouvait entendre le bruit du tonnerre; la distance de l'éclair devait être alors d'au moins 35 kilomètres. Le bruit de l'éclair consistait ordinairement en une sorte de crépitation, composée d'une succession très rapide de coups secs, d'intensité très variable. La durée totale de la crépitation ne dépassait pas une demi-seconde, comprenant en moyenne six ou huit coups successifs; le bruit était comparable à une allumette suédoise, frottée sur la boîte. Quelquefois, mais très rarement, on n'entendait qu'un seul coup sec; une ou deux fois, des coups très intenses, comparables aux décharges d'une forte bouteille de Leyde.

M. Colladon pense que les expériences au moyen du téléphone offrent une méthode très facile pour étudier les effets d'induction produits par ces éclairs, et mesurer les vitesses de transmission de ces influences jusqu'à de grandes distances.

Séance du 17 Octobre 1881.

Note de M. Raoul Pictet sur la théorie d'un bateau rapide.

Les bateaux construits jusqu'à ce jour flottent, d'après le principe d'Archimède, en déplaçant un volume d'eau dont le poids est égal au leur. Leur vitesse n'a qu'une influence insignifiante sur le déplacement; les résistances au mouvement croissent comme le carré des vitesses et le travail moteur comme le cube de ces vitesses.

M. R. Pictet s'est proposé d'étudier la forme la plus rationnelle d'un bateau rapide, c'est-à-dire la forme qui permette de transporter le plus économiquement et le plus rapidement une charge donnée. Il trouve que si on considère que la résistance de l'eau se décompose en deux forces perpendiculaires : l'une verticale, luttant contre la pesanteur; l'autre horizontale, luttant contre la rigidité des flancs du bateau. Le problème de la construction d'un bateau rapide est ramené à certaines conditions dont voici les principales :

1° Il faut que le volume dont l'équation F (x, y, z) est la surface extérieure (au-dessous de la ligne de flottaison) soit égal à T, tonnage voulu;

2° Que l'intégrale de la surface élémentaire, multipliée par le sinus de l'angle fait par l'élément de surface avec l'axe des X (axe longitudinal), soit minimum;

3° Que la résultante de l'action mécanique de l'eau contre la carène soit maximum dans la direction opposée à la pesanteur, et minimum dans toutes les autres directions;

4° Il faut que la machine propulsive soit calculée de telle sorte que l'effort en kilogrammes qu'elle peut exercer soit supérieur à l'intégrale de la résistance de l'eau pour la vitesse minimum que l'on veut atteindre.

Si on introduit ces conditions dans l'équation fondamentale du mouvement, l'analyse montre qu'il n'y a qu'une seule forme qui les satisfasse toutes. Cette forme a pour caractéristique les trois traits suivants : si on appelle *lignes d'eau* les lignes qui marqueraient contre la carène toutes les petites masses d'eau qui la touchent lorsque le bateau est en marche et qu'elles passent de l'avant à l'arrière, on trouve :

1° Que toutes les lignes d'eau doivent être contenues dans des plans parallèles au plan des X Z (Z est l'axe vertical);

2° Que la réunion des lignes d'eau forme une surface développable, plane dans le sens des X Y (Y est l'axe transversal), et parabolique dans la direction des X Z;

3° Que toutes les lignes d'eau ont la même équation d'une même parabole; le sommet est à l'avant du bateau et la concavité de la parabole est dirigée vers le bas, c'est-à-dire vers le fond de l'eau.

Le bateau sera large, relativement plat, et le fond recevra constamment une poussée de bas en haut opposée à la pesanteur qui tend à déniveler le

bateau et à diminuer son tirant d'eau au fur et à mesure que la vitesse augmentera.

Le calcul montre que l'on peut espérer atteindre des vitesses de 50 à 60 kilomètres à l'heure.

Un bateau est en construction à Genève pour la vérification expérimentale de cette théorie.

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE.

Aout 1881.

Rapport de M. Redier, sur un **Appareil de phare** pour feu de direction, muni d'écrans pivotants, système von Otter, exécuté par M. Henry Lepaute, fils.

Le principe de ce système est de caractériser le feu (pour faciliter la reconnaissance par les marins), au moyen d'une série d'écrans ou de persiennes pivotant sur des axes verticaux, et imprimant une sorte de rythme, empêchant de confondre le phare avec d'autres feux, ou, pour les appareils de direction, caractérisant d'une façon très nette les limites entre lesquelles le navigateur doit se maintenir.

L'appareil exécuté, par M. Henry Lepaute, a été commandé par le gouvernement suédois, dans le but de servir à des expériences.

L'appareil complet se compose, outre le panneau de feu fixe, d'une lentille à éléments verticaux de 30 degrés d'amplitude, que l'on peut faire glisser dans une coulisse circulaire pour l'amener devant le feu fixe, ou la mettre de côté pour produire un éclat plus puissant.

A côté du panneau de feu fixe, existe un panneau annulaire de feu tournant du même ordre, de 30 degrés d'amplitude.

L'éclairage est obtenu par une lampe à huile minérale, avec bec à 2 mèches et réservoir inférieur, dont l'intensité est de 7 becs Carcel.

L'intensité du feu fixe est de 60 becs; celle du feu tournant de 220, et celle de l'éclat produit par la lentille de 350 becs.

Le mouvement des panneaux se fait au moyen de cames montées sur l'arbre de la machine, qui est une machine de rotation pour phare tournant de quatrième ordre, avec volant modérateur à ailes fixes.

Rapport de M. Davanne, sur les **Procédés de topogravure et de zincographie**, en usage à l'atelier du dépôt des fortifications.

Sur la conservation des bois par le sulfate de cuivre, par M. de Lafollye.

Action de la lumière solaire sur le verre, par Thomas Gaffield.

Sur des tentures artistiques, par M. Letorey.

AOUT 1881.

Note sur l'**Interprétation** de l'article 3 du titre XXVIII de l'ordonnance des eaux et forêts du mois d'août 1669, par M. TARBÉ DE SAINT-HARDOUIN, ingénieur des ponts et chaussées.

Note sur la **Durée de l'Éclusage** au canal du Centre des bateaux chargés à 300 tonnes, par MM. FONTAINE, ingénieur en chef et DESMUR, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

Les lignes de navigation principale doivent pouvoir recevoir des bateaux chargés à 300 tonnes, ayant 38^m,50 de longueur, 5 de largeur et 1^m,80 d'enfoncement. Les seuils des écluses doivent être établis à 2 mètres de profondeur. Les auteurs se sont proposé de démontrer, que le passage des bateaux de ce genre dans les écluses ne sera pas possible pratiquement, et ils indiquent en outre les moyens à employer pour corriger ce défaut.

En tenant compte du temps nécessaire avec les bateaux et les écluses actuelles, on peut admettre que l'éclusage moyen durera 50 minutes, et que l'effort de traction pour faire avancer le bateau dans l'écluse sera de 270 kilogrammes, effort auquel quatre chevaux suffiraient à peine. Ces chiffres sont inadmissibles en pratique. Le passage de la Saône à la Loire ou *vice-versa* (116 kilomètres), qui prend 11 jours en exigerait 14 et la capacité du canal serait réduite de 48 bateaux par jour à 24.

Il est donc de toute nécessité, dans les écluses allongées, d'assurer à l'eau refoulée par l'entrée du bateau dans le sas, ou par sa sortie, un dégagement beaucoup plus facile. Il y a deux systèmes en présence. L'un consiste à abaisser les seuils et les radiers des écluses pour donner à l'eau refoulée un débouché supplémentaire par-dessous le bateau. L'autre consiste à donner un débouché supplémentaire latéral, en faisant communiquer l'extrémité amont du sas avec le bief d'aval, et l'extrémité aval du sas avec le bief d'amont, au moyen d'aqueducs latéraux pratiqués dans les bajoyers ou contre leurs faces extérieures; ce dernier système est appliqué en Belgique où ces aqueducs sont désignés par le nom de larrons. On trouve par le calcul en s'appuyant sur des expériences faites en Belgique, que pour réduire la durée du passage dans les écluses allongées des bateaux ci-dessus à 7 1/2 minutes avec halage par deux hommes, l'aqueduc devrait avoir une section de 6^{mq},70, soit un diamètre de 2^m,92 s'il était circulaire. Ce serait un aqueduc considérable.

On peut arriver plus sûrement au même résultat en abaissant à 2^m,55 ou 2^m,60 en contre-bas du plan d'eau le niveau des seuils et des radiers de

écluses. C'est la solution que les auteurs proposent pour le canal du Centre.

Note sur le **Neuvième bassin à flot**, en construction au port du Havre, par M. Widmer, ingénieur des ponts et chaussées.

Herse à décaper les chaussées empierrées, de M. Mothiron, conducteur des ponts et chaussées.

Ponton pour le coulage à la mer des blocs naturels ou artificiels.

ANNALES DES MINES.

3e livraison de 1881.

Note sur le **Nitre jaune**, nommé vulgairement caliche azufrado et sur la **Huantajalte**, par M. Domeiko.

Note sur les **Progrès de la minéralogie** du Chili, de la Bolivie, du Pérou et des provinces Argentines, par M. Domeiko.

Discours prononcés aux funérailles de M. Bonnefoy, ingénieur des mines, par MM. les Inspecteurs généraux Tournaire et de Chancourtois.

M. Bonnefoy a été tué, le 28 mai, par une explosion de grisou dans les mines de Champagnac.

Note sur les **Lignites dans le Nord de la Bohême**, par M. Ch. Lallemand, ingénieur des mines.

Ces lignites ont une grande importance, Magdebourg en consomme plus de 200,000 tonnes par an et Prague plus de 120,000. On peut dire que le bassin à lignites du nord-ouest de la Bohême, constitue un des principaux gîtes de combutibles mineraux de l'Europe centrale.

On emploie ces lignites au chauffage domestique, à la cuisson du pain, de la chaux, de la brique, du chauffage des chaudières fixes, dans les fabriques de sucre et même au Bessemer.

La production dépasse six millions de tonnes par an. Ces lignites contiennent de 15 à 20 pour 100 d'eau au sortir de la mine et 5 à 6 pour 100 de cendres. Un kilogramme donne 4,300 à 4,500 calories et vaporise de 4 à 5 kilogrammes d'eau. Le prix de revient est de 2 fr. 50 à 3 fr. 65 la tonne.

La valeur crée par cette exploitation est de plus de 17 millions de francs, sans compter le produit du transport par chemins de fer.

INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS.

Réunion de Newcastle, 2, 3 et 4 *août* 1881.

La Tyne dans ses rapports avec l'histoire de l'Art de l'Ingénieur, par M. J. Lowthian Bell.

Progrès et développement de la machine marine, par M. F. C. Marshall, de Newcastle.

Machines à imprimer, par M. John Jameson, de Newcastle.

Perfectionnements récents dans le traitement du plomb, par M. Norman C. Cookson.

Filtre et réchauffeur d'eau d'alimentation, par M. G.-S. Strong, de Philadelphie.

Le fer et l'acier comme matériaux de construction pour navires, par M. John Price, de Jarrow.

Mémoire sur les cales de halage, par M. William Boyd, de Wallsend on Tyne.

IRON AND STEEL INSTITUTE

Réunion a Londres. 11, 12 et 13 *octobre* 1881.

Fabrication des rails d'acier aux États-Unis, par le capitaine D.-R. Jones, de Pittsburgh.

De l'emploi d'un agitateur dans le procédé Bessemer, par M. W.-D. Allen, de Sheffield.

De la distribution des éléments dans les lingots d'acier, par M. Snelus, de Workington.

Le procédé Bessemer basique, par M. Paul Kupelwieser, de Witkowitz (Autriche).

Pratique courante de la déphosphoration, par MM. S.-G. Thomas et P.-C. Gilchrist.

Fabrication de l'artillerie, par le colonel Maitland, de Woolwich.

De l'application du fer et de l'acier à la construction des affûts de canons, par M. H.-J. Butter, de Woolwich.

De l'application de l'acier à la fabrication des petites armes, des projectiles et de l'artillerie, par M. F. Gauthier, de Paris.

De la fabrication des projectiles, par M. Davidson, de Woolwich.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

9e numéro de 1881.

Emploi du béton de ciment dans les constructions hydrauliques, par M. David Endres, ingénieur en chef du service municipal, à Augsburg.

Machine d'épuisement, par M. A. Geisler, ingénieur civil, à Düsseldorf.

Locomotives Compound, système Mallet et système von Borries, par M. Carl Schaltenbrand, ingénieur, à Berlin.

Reconstruction d'une turbine à Rhene, par M. G. Bokelberg, ingénieur civil, à Hanovre.

Petite machine à colonne d'eau pour la manœuvre d'une pompe d'épuisement, par M. C. Ficus, à Limburg-sur-Lahne.

Instruments de précision à l'Exposition des Arts et de l'Industrie de Halle.

Le pont Niederbaumbrucke, à Hambourg.

Machine à essayer à la flexion.

Le pont de Chaudière sur l'Ottowa, au Canada.

Pont tournant des docks de Sunderland.

Les ponts de chemins de fer sur le Danube.

Fours à creusets de Fletcher.

Appareil pour le chauffage au gaz des bandages de roues.

Régénérateur Gaillard, Haillot, Radot et Lencauchez.

Pyromètre Seyfferth.

Grille à barreaux mobiles d'Adam.

Grille de Cheesbrough.

Barreaux de grille de Dean.

Chauffage de Widerung.

Chauffage pour école.

Ventilateur à turbine de Franz.

Ventilateur pour séchage du mat de Witschel.

Cheminée de ventilation de Griffin.

Laminoir universel.

Appareils pour recueillir les produits accessoires; goudron et ammoniaque, dans la fabrication du coke.

Influence de la température sur l'acier.

Métal Spence.

Essais de machines et de chaudières à l'Exposition de Düsseldorf, en 1880.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ET ARCHITECTES D'AUTRICHE.

N° 4. — 1881.

Maison Goebel sur la Maximilianplatz, à Vienne, par M. Julius Koch, architecte et professeur.

Traverses en fer et assemblage des rails sur les traverses en fer, système Henreich Schmidt.

Appareils de dessiccation pour fabrique de matières explosives, à Bukarest, par M. J. Rosenberg, ingénieur.

Distribution à détente variable, par M. Ferd. Miksche.

Étude sur la formule fondamentale de l'aérodynamique, par M. l'ingénieur en chef Chevalier de Lossl.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. MALLET.

Erratum. — Dans la Chronique de septembre, page 258, dans les tableaux IV et V le mot **normale** doit être au-dessus des deux colonnes de droite et la désignation **$0^m,75$** au-dessus des deux colonne de gauche.

.— IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

NOVEMBRE 1881

N° 11

Pendant le mois de novembre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Prix Nozo* à décerner au mois de juin 1882 (séance du 4 novembre, page 496).

2° *Poutres continues, application au calcul des poutres pour routes* (Recherches sur la théorie des), par M. Canovetti (séance du 4 novembre, page 497).

3° *Horloges pneumatiques* (Unification de l'heure à Paris, par la Compagnie générale des), par M. Martin (séance du 4 novembre, page 504).

4° Lettre de M. Bodin, en réponse à celle adressée à la Société, le 7 octobre, par M. Eiffel, relative au *Pont du Douro* (séance du 18 novembre, page 514).

5° *Tramway électrique, système Siemens*, par M. Boistel (séance du 18 novembre, page 515).

6° *Ressorts à lames, employés dans les chemins de fer*, par MM. Rey et Vallot (Henri) (séance du 18 novembre, page 527).

Pendant le mois de novembre la Société a reçu :

De M. Sautereau, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur quelques considérations sur le *Tracé du chemin de fer stratégique du Blanc à Argent.*

De M. Houbigant, membre de la Société, un exemplaire d'une *photographie de son appareil à tracer les courbes, une élévation grandeur d'exécution, et un spécimen des différentes courbes obtenues au moyen dudit appareil.*

De M. Grœnberg, membre de la Société, un exemplaire d'une note explicative de son projet d'*Egouts collecteurs de la ville d'Odessa.*

De M. Poillon, membre de la Société, un exemplaire d'une note intitulée : *Essai sur les inventions en mécanique et sur leur exploitation commerciale.*

De M. Gaume, membre de la Société, un exemplaire de son rapport présenté au Conseil municipal de Toulon (*Commission des eaux*).

De M. Rey (Alexis), ingénieur civil des mines, un exemplaire d'une note sur la *machine à tunnels*, de M. Brunton et sur les essais qui en ont été faits.

Les Membres nouvellement admis sont :

MM.	CABANELLAS,	présenté par MM.	Armengaud, Bourdin et Love.
	DEFRANCE,	—	Carimantrand, Franck de Préaumont et Marché.
	DUFRENAY,	—	Béju Duval, Masson et Vaudenberghe.
	EBEL,	—	De Comberousse, Gottschalk et Mathieu.
	FLAMANT,	—	Lemoine, Mékarski et Rougel.
	FLORÈS,	—	De Comberousse, Gottschalk et Mathieu.
	GADOT,	—	Cahen (Albert), Delaporte (G.) et Fontaine.
	GÉRARD,	—	Dru (Léon), Godillot et Mallet.
	MONPROFIT,	—	Broca, Franck et Guitton.
	NÉATE,	—	Lecocq, Mathieu et Parent (Louis).
	PALIÈS,	—	Bodin, Godfernaux et Mallet.
	ROSEVELT,	—	Armengaud (J.), Mardelet et Marché.

Comme Membre associé :

M. ROSE, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Mouchot.

NOTE

SUR

L'ÉTABLISSEMENT DES RESSORTS A LAMES

EMPLOYÉS

DANS LE MATÉRIEL DES CHEMINS DE FER

PAR MM. **L. REY** ET **H. VALLOT.**

BUT DU MÉMOIRE

La théoric des ressorts à lames est faite depuis longtemps et tous ceux qui ont eu l'occasion de s'occuper de cet élément indispensable de tout véhicule connaissent le travail publié dans les Annales de Mines (*) et dans lequel la question a été traitée magistralement par M. Phillips.

Mais si la partie théorique est complète, il manque un commentaire pratique donnant la manière d'appliquer les formules aux différents cas qui se présentent dans l'établissement des ressorts.

L'absence de ce travail se fait d'autant plus sentir, que les formules de M. Phillips, telles qu'elles sont présentées dans son mémoire, s'appliquant directement à la vérification d'un ressort exécuté, ne se prêtent pas aisément à la solution du problème inverse, c'est-à-dire à la détermination des dimensions d'un ressort qui doit travailler dans des limites données de résistance et de flexibilité.

Il est à remarquer aussi que celles de ces formules dont on fait généralement usage sont établies pour des ressorts complets, c'est-à-dire des ressorts dont la première feuille serait amincie comme les autres, et dont la dernière se réduirait aux deux amincissements. Or, ces conditions ne sont presque jamais remplies dans la pratique ; on

(*) 5e série, tome I, 1852.

est conduit, par des considérations de construction, à laisser entre les deux amincissements de la dernière feuille une certaine longueur prismatique, et, par des considérations de résistance, à soutenir la première feuille, qui d'ailleurs n'est jamais amincie, par une ou quelquefois plusieurs autres de même longueur.

Nous avons essayé de combler la lacune signalée plus haut, et c'est le résultat de nos études que nous développerons dans le travail qui va suivre. Ce travail se divise en trois parties.

Dans la première partie, nous donnerons les formules simplifiées, mais rigoureuses, tirées de la théorie générale établie par M. Phillips, qui s'appliquent spécialement aux ressorts employés dans les voitures et wagons, et tiennent compte des éléments nouveaux dont nous avons parlé ci-dessus ; puis nous en déduirons, par transformation, des formules nouvelles au moyen desquelles on pourra obtenir directement et par des calculs très simples les éléments qui doivent servir à la détermination définitive du ressort.

Dans la deuxième partie, qui s'applique particulièrement aux ressorts de suspension avec ou sans menottes, nous nous occuperons des relations du ressort avec le châssis, et de l'influence souvent sensible du mode d'attache de ses extrémités, en indiquant comment on peut tenir compte de tous éléments qui doivent entrer dans l'étude d'une suspension, et quelle est la marche à suivre dans les différents cas que l'on peut avoir à traiter ; quelques exemples numériques faciliteront l'emploi de nos formules.

La troisième partie donnera l'application des formules à l'étude d'un ressort de choc, et à celle d'un ressort de traction ; enfin l'appendice contient quelques développements qui n'ont pu trouver place dans le reste du mémoire.

Nous pensons que notre travail présentera quelque intérêt, et rendra des services en évitant des calculs souvent longs et fastidieux, et c'est cet espoir qui nous a décidés à le faire paraître.

DIVISION DU MÉMOIRE

TROISIEME PARTIE

Application des formules aux ressorts de choc et de traction.

APPENDICE

PREMIÈRE PARTIE

Formules générales s'appliquant au calcul de tous les ressorts à lames.

CHAPITRE PREMIER

FORMULES RELATIVES A LA FLEXIBILITÉ ET A LA RÉSISTANCE D'UN RESSORT.

---

§ 1er. — *Notations employées dans les formules générales* (*).

L Demi-longueur de la première feuille.

L_1 Demi-longueur de la partie prismatique de la dernière feuille.

l Longueur de chacun des étagements, supposés égaux.

a Largeur des feuilles, supposée constante et la même pour toutes.

e Épaisseur des feuilles (même hypothèse).

n Nombre total des feuilles composant le ressort.

n' Nombre de feuilles de longueur $2L$ et non amincies.

$H = ne$ Épaisseur du ressort au milieu.

f Flexibilité par 1000k de charge ou de tension sur le ressort.

Q Charge ou tension à chaque extrémité du ressort.

α_1 Allongément maximum, par mètre, sous la tension $2Q$, de la matière employée, pour la section située à une distance λ du milieu du ressort.

α Allongement maximum pour tout le ressort.

y Perte de flèche que subit le ressort sous l'action de la tension $2Q$.

P Poids du ressort.

(*) Voir la figure 1. Pl. 38.

E Coefficient d'élasticité de la matière du ressort.

M Moment d'élasticité, dont la valeur est :

$$M = \frac{E a e^3}{12} \ (*).$$

§ 2. — *Expression de la flexibilité en fonction de la charge et des dimensions du ressort.*

M. Phillips a donné les formules générales au moyen desquelles on peut calculer la flexion d'un ressort dont les conditions d'établissement sont connues, ainsi que la tension à laquelle il est soumis. Ces formules générales, assez compliquées lorsque les éléments du ressort sont tous différents, se simplifient notablement lorsque les feuilles ont toutes la même largeur, la même épaisseur et le même coefficient d'élasticité; nous supposerons, dans ce qui va suivre, ces conditions remplies. Nous admettrons de plus que les amincissements des extrémités des feuilles sont faits suivant la loi indiquée par M. Phillips (**). En outre des propriétés favorables que présente cette disposition, l'hypothèse que l'on fait ainsi a l'avantage de conduire à des formules beaucoup plus simples que celles qui conviennent au cas de feuilles complètement prismatiques. Enfin nous supposerons que le ressort est *incomplet*, c'est-à-dire que la demi-longueur de la dernière feuille est supérieure à celle d'un étagement, et que le ressort peut comporter une ou plusieurs feuilles de même longueur que la première feuille.

On trouvera à l'Appendice (***) la démonstration de la formule suivante qui donne la perte de flèche subie par le ressort sous une tension 2 Q, dans les conditions qui viennent d'être énoncées :

$$y = \frac{QL^3}{3M}\left[\frac{2L^3 + (L - L_1)^3}{2nL^3 + n'(L - L_1)^3}\right].$$

La flexibilité s'obtiendra en faisant dans cette formule $2Q = 1000$ ou $Q = 500$, et l'on aura :

$$f = \frac{500L^3}{3M}\left[\frac{2L^3 + (L - L_1)^3}{2nL^3 + n'(L - L_1)^3}\right]. \qquad (1)$$

(*) Nous rappellerons que l'on a, d'une façon générale, $M = EI$, I étant le moment d'inertie de la section.

(**) Voir à l'Appendice la note I, 1°.

(***) Voir à l'Appendice la note II.

§ 3. — *Expression de l'allongement proportionnel.*

Les formules données par M. Phillips indiquent que l'allongement proportionnel, qui en chaque section est maximum pour les fibres de la surface des feuilles, va en croissant, à chaque étage, à mesure qu'on s'approche du milieu du ressort, si l'épaisseur et le rayon de fabrication sont constants pour une même feuille. Dans ces conditions, l'allongement maximum dans une section située à une distance λ du milieu du ressort sera :

$$\alpha_1 = \frac{eQ(L - \lambda)}{2Mn''},$$

n'' représentant le nombre total de feuilles comprises dans la section considérée. Si dans cette formule nous faisons $\lambda = 0$, et par suite $n'' = n$, nous aurons la valeur maximum de α_1 pour tout le ressort, qui sera :

$$\alpha = \frac{eQL}{2Mn}. \qquad (2)$$

§ 4. — *Expression du travail du métal par unité de surface.*

Le travail auquel sont soumises les fibres les plus fatiguées des feuilles du ressort se traduit généralement par l'allongement proportionnel qu'elles subissent, comme on vient de le voir au paragraphe précédent. Mais il est facile de passer de cet allongement au travail par unité de surface. En effet, si R est la charge par mètre carré que supporte la fibre la plus fatiguée, la valeur de R correspondant à α sera :

$$R = E\alpha.$$

CHAPITRE II

TRANSFORMATION DES FORMULES PRÉCÉDENTES POUR LES RENDRE DIRECTEMENT APPLICABLES A LA RECHERCHE DES DIMENSIONS D'UN RESSORT.

---

§ 5. — *Valeur approchée de la flexibilité.*

Les formules qui précèdent peuvent servir à vérifier les conditions dans lesquelles travaille un ressort établi; mais le problème que nous nous proposons de résoudre étant de déterminer les dimensions d'un ressort qui doit satisfaire à certaines conditions imposées, l'emploi de ces formules exigerait de longs tâtonnements que nous nous proposons d'éviter en les modifiant de façon à arriver le plus simplement possible au résultat cherché.

La flexibilité étant supposée donnée et la longueur du ressort étant souvent un des éléments à déterminer, il est utile de dégager la valeur de L de la formule (1) en mettant celle-ci sous une forme plus simple qui, bien qu'approximative, suffira pour un premier calcul des éléments du ressort; on pourra ensuite vérifier la flexibilité de ce ressort ainsi déterminé au moyen de la formule rigoureuse (1). Reprenons cette formule, en la mettant sous la forme :

$$f = \frac{500\,L^3}{3\,M}\left[\frac{2 + \frac{(L - L_1)^3}{L^3}}{2n + \frac{n'\,(L - L_1)^3}{L^3}}\right],$$

représentons par m le rapport $\frac{L - L_1}{L}$; nous aurons :

$$f = \frac{250\,L^3}{3\,M\,n}\left(\frac{2 + m^3}{1 + \frac{n'\,m^3}{2n}}\right).$$

Si l'on fait le calcul du coefficient entre parenthèses pour les différents ressorts employés dans le matériel voitures et wagons, on trouve

que cette quantité varie dans les limites peu étendues, comprises en général entre 2,5 et 2,7. On sera donc autorisé à considérer ce terme comme un coefficient auquel on donnera pour chaque genre de ressort une valeur numérique déterminée. En remplaçant alors M par sa valeur $\frac{E a e^3}{12}$, il viendra :

$$f = 1000 \left(\frac{2 + m^3}{1 + \frac{n' m^3}{2n}} \right) \frac{L^3}{E a e^3 n}.$$

Enfin, si nous représentons par le K le coefficient variable

$$1000 \left(\frac{2 + m^3}{1 + \frac{n' m^3}{2n}} \right),$$

nous aurons :

$$f = \frac{K L^3}{E a e^3 n}. \qquad (3)$$

Valeur du coefficient K.

Dans les ressorts de suspension (*) que l'on construit aujourd'hui, on soutient généralement la première feuille de longueur 2 L par une seconde feuille de même longueur, mais amincie, ce qui donne $n' = 1$. Quant à la longueur $2 L_1$ de la partie prismatique de la dernière feuille, il suffit qu'elle soit au moins égale à la largeur de la bride du ressort, qui est à peu près la même que celle des feuilles, soit 75 à 90 millimètres. Dans le cas où le ressort est posé sur la boîte de graissage sans l'interposition d'une bride, une longueur de contact de 100 millimètres sera suffisante. Nous supposerons donc en moyenne $2 L_1 = 0^m,100$ ou $L_1 = 0^m,050$. Si l'on admet de plus que 2 L varie de 1 mètre à $2^m,20$ et n de 9 à 15, on trouve que la valeur de K varie de 2 500 à 2 700, soit en moyenne 2 600; on peut donc écrire pour les ressorts de suspension :

$$f = \frac{2600 \, L^3}{E a e^3 n} = \frac{217 \, L^3}{M n}. \qquad (3)$$

(*) On trouvera à la 3e partie l'application des coefficients aux cas des ressorts de choc et des ressorts de traction.

Remarque I. — Si le ressort était *complet* et si le nombre des feuilles de longueur 2 L se réduisait à une seule, on aurait:

$$L_1 = 0,\ n' = 0,$$

et

$$f = \frac{3000\,L^3}{E\,a\,e^3\,n} = \frac{250\,L^3}{M\,n}.$$

Remarque II. — Nous laissons en évidence dans toutes ces formules le coefficient d'élasticité E, afin que l'on puisse lui donner dans chaque cas particulier la valeur qui convient à la qualité du métal employé. On trouvera à l'Appendice un tableau des valeurs de M correspondant à diverses sections de feuilles, et calculé dans l'hypothèse de E = 20.000.000.000, nombre généralement admis pour les ressorts en acier (*).

§ 6. — *Formules complémentaires.*

Reprenons maintenant la formule (2) et remplaçons M par sa valeur, elle deviendra :

$$\alpha = \frac{6\,Q\,L}{E\,a\,e^2\,n}. \tag{4}$$

Combinant (3) et (4), on obtiendra la formule :

$$e = \frac{K\,L^2\,\alpha}{6\,Q\,f} = \frac{433\,L^2\alpha}{Q\,f} \tag{5}$$

en donnant à K la valeur moyenne 2600; cette formule, résolue par rapport à L, permettra d'obtenir la longueur du ressort pour une charge ou tension, une flexibilité et un allongement déterminés, si l'on connaît l'épaisseur des feuilles. On aura ainsi :

$$L = \sqrt{\frac{6\,Q\,e\,f}{K\,\alpha}} = 0{,}048\,\sqrt{\frac{Q\,e\,f}{\alpha}} \tag{6}$$

pour la valeur moyenne K = 2600, convenant aux ressorts de suspension.

Connaissant la longueur 2 L, soit qu'elle résulte des données, soit qu'elle ait été déterminée à l'aide de la formule (6), on obtiendra le

(*) Voir à l'Appendice, la note V.

nombre des feuilles au moyen de la formule (2) résolue par rapport à n :

$$n = \frac{e\,Q\,L}{2\,M\,\alpha}. \qquad (7)$$

L'épaisseur du ressort en son milieu sera :

$$H = n\,e = \frac{6\,Q\,L}{E\,a\,e\,\alpha}. \qquad (8)$$

Les formules (5) et (7) permettent, par l'élimination de e, d'établir une relation directe entre l'épaisseur du ressort, sa longueur, la largeur de ses feuilles, et la tension à laquelle il est soumis; on obtient ainsi (*) :

$$H = \frac{36\,Q^2 f}{KE\;a\,L\;\alpha^2} = \frac{0{,}0138\,Q^2 f}{E\,a\,L\,\alpha^2}. \qquad (9)$$

Nous rappellerons que l'étagement a pour valeur :

$$l = \frac{L - L_1}{n - n'}. \qquad (10)$$

§ 7. — *Poids d'un ressort.*

Le poids d'un ressort est donné exactement, abstraction faite de celui des rouleaux, par la formule (**) :

$$P = a\,e\,\delta\left[2\,L\,n - (n - n')\left(n - n' - \frac{1}{2}\right)l\right], \qquad (11)$$

δ étant le poids du mètre cube de la matière du ressort. Cette formule pourra servir à calculer le poids rigoureux d'un ressort dont tous les éléments sont connus; mais il est souvent utile de pouvoir évaluer ce poids, au moins approximativement, en fonction des données générales du problème et au moyen d'une expression plus simple.

Si nous substituons, dans la formule qui précède, à l sa valeur (10) :

$$l = \frac{L - L_1}{n - n'},$$

(*) Comparer avec cette formule celle de même forme indiquée dans le mémoire de M. Phillips, déjà cité.

(**) Voir la démonstration à l'Appendice, note III.

il vient :

$$P = ae\delta \left[2Ln - \left(n - n' - \frac{1}{2}\right)(L - L_1)\right],$$

ou en mettant en évidence le rapport :

$$\frac{L - L_1}{L} = m,$$

$$P = aeL\delta \left[2 - m\left(n - n' - \frac{1}{2}\right)\right],$$

ou enfin en mettant n en facteur :

$$P = aenL\delta \left[2n - m\left(\frac{n - n' - \frac{1}{2}}{n}\right)\right];$$

nous pouvons représenter par K′ la quantité

$$2 - m\left(\frac{n - n' - \frac{1}{2}}{n}\right),$$

et remplacer $(e.n)$ par H, qui est l'épaisseur du ressort, nous aurons finalement :

$$P = K'aHL\delta.$$

Cette expression montre que le poids du ressort est égal à celui d'un prisme dont la hauteur serait la largeur a du ressort, et dont la surface de la base serait K′. HL. (Si l'on considérait le ressort comme un prisme triangulaire, la surface la base serait HL, ce qui reviendrait à supposer $K' = 1$.)

Si maintenant nous voulons exprimer ce poids en fonction des données Q f et α, nous tirerons de la formule (9)

$$aHL = \frac{36\,Q^2 f}{KE\alpha^2};$$

puis, multipliant les 2 membres par K′ et par δ (*) :

$$K'aHL\delta = P = \frac{36\,K'\delta}{KE} \cdot \frac{Q^2 f}{\alpha^2}. \qquad 12)$$

Les valeurs de K et de K′ dépendent de n, de n' et de m. Si nous

(*) Comparer avec cette formule celle de même forme du mémoire de M. Phillips.

faisons l'application des coefficients aux ressorts de suspension (*) et si nous supposons, comme nous l'avons déjà fait, que $n' = 1$, que n varie de 7 à 15 et que m est en moyenne de 0,90 ; si, de plus, nous prenons $\delta = 7800$ et $E = 20{,}000{,}000{,}000$, le rapport $\frac{K'}{K}$ variant

de 0,000.52 à 0,000.44 ;

la constante $\frac{36 K' \delta}{K E}$ varie, par conséquent,

de 0,000.000.007.3 à 0,000.000.006.2 ;

soit, en moyenne, 0,000.000.006.7.

On a donc approximativement (**) :

$$P = 0{,}000.000.006.7 \, \frac{Q^2 f}{\alpha^2}. \qquad (12)$$

(*) On trouvera à la 3e partie la valeur des coefficients applicables aux ressorts de choc et de traction.

(**) Le grand nombre de zéros qui précèdent les chiffres significatifs dans le coefficient de cette formule, peut offrir quelques difficultés dans son emploi. Nous remarquerons alors que si l'on exprime Q en tonnes, f en millimètres et α en millièmes, on a :

$$P = 6{,}7 \, . \, \frac{Q^2 f}{\alpha^2}.$$

DEUXIÈME PARTIE

Application des formules aux ressorts de suspension avec menottes ou avec sellettes.

CHAPITRE III.

RELATIONS GÉOMÉTRIQUES ENTRE LES DIVERS ÉLÉMENTS A CONSIDÉRER DANS L'ÉTUDE D'UNE SUSPENSION.

---

§ 8. — *Données générales du problème.*

Pour déterminer les divers éléments des ressorts de suspension d'un véhicule, il faut connaître pour chacun d'eux les quantités suivantes :

$2\,Q_0$ charge que doit supporter le ressort sous véhicule vide.
$2\,Q$ charge que doit supporter le ressort sous véhicule chargé.
f flexibilité par 1,000 kilog.
α allongement maximum auquel doit travailler la matière dont le ressort est formé.
E coefficient d'élasticité de cette matière.
n' nombre de feuilles de longueur 2 L et non amincies.
$2\,L_1$ longueur minimum de la partie prismatique de la dernière feuille, jugée suffisante pour assurer le repos sur la boîte de graissage.

Les données qui précèdent sont communes aux deux genres de ressorts de suspension dont nous nous occupons. Mais, pour ce qui va suivre, nous considérerons séparément chacun des deux types, avec menottes ou avec sellettes.

§ 9. — *Eléments qui entrent dans l'étude d'une suspension.*

1° RESSORTS AVEC MENOTTES.

Les éléments du ressort qui peuvent être donnés ou que l'on aura à déterminer sont les suivants (*) :

$2L$ longueur du ressort mesurée d'axe en axe des rouleaux, le ressort étant supposé aplati.
l longeur de l'étagement.
a largeur des feuilles.
e épaisseur des feuilles.
n nombre total des feuilles.
H épaisseur du ressort au milieu.
P poids du ressort.
r distance entre l'axe du rouleau et l'axe de la première feuille (**).
$2c$ distance d'axe en axe des rouleaux sous véhicule chargé.
ρ rayon de courbure de l'axe de la première feuille, sous véhicule chargé.
ω demi-angle au centre de l'arc formé par la première feuille.
F flèche de fabrication, comptée depuis le plan passant par les axes des rouleaux jusqu'à la face supérieure de la première feuille, le ressort étant libre.
F_1 flèche géométrique, ou flèche sous véhicule chargé comptée depuis le plan passant par les axes des rouleaux jusqu'à l'axe de la première feuille.
f_1 perte de flèche du ressort sous l'action du chargement ($2Q - 2Q_0$).
f_2 perte de flèche du ressort sous l'action de la charge totale $2Q$.
v abaissement du châssis sous l'action de la charge totale $2Q$.

Il faut en outre tenir compte de certaines données qui ont une influence sur la suspension et qui sont déterminées par des conditions

(*) Voir pour les notations les figures 5, 6, 7 et 8. Pl. 38.
(**) Voir à l'Appendice la note 1, 2°.

30

étrangères à l'établissement du ressort. Ces données sont les suivantes :

h distance entre le plan de repos de la dernière feuille du ressort et le plan inférieur du brancard sous véhicule vide.
b distance de l'axe du boulon des supports de suspension au plan inférieur du brancard.
p distance de l'axe du boulon de l'extrémité du ressort au plan inférieur du brancard, sous véhicule chargé.
q distance horizontale entre l'axe du boulon de l'extrémité du ressort, et celui des mains de suspension, sous véhicule chargé.
s saillie des brides du ressort au-dessus de la première feuille.
d diamètre des boulons des extrémités du ressort.
g longueur des menottes.
β angle des menottes avec l'horizontale, sous véhicule chargé.

Enfin on représentera par :

D la distance entre les boulons d'articulation des deux supports de suspension appartenant au même ressort.
j la distance entre le plan inférieur du brancard et la partie saillante des brides du ressort sous véhicule chargé.

Ces deux dernières quantités pouvant être chacune imposée ou non imposée, il en résulte quatre cas différents que nous étudierons successivement, et dans lesquels rentrent la plupart de ceux dont on a à s'occuper dans la pratique.

On trouvera au chapitre IV, § 12, l'énoncé de ces quatre cas.

2° RESSORTS AVEC SELLETTES.

Les mêmes notations s'appliquent aux ressorts avec sellettes, avec les différences suivantes :

Parmi les éléments du ressort :

2 L représente la longueur du ressort mesurée entre les arêtes de contact, le ressort étant supposé aplati.
r la distance entre l'arête de contact et l'axe de la première feuille (*).

(*) Voir à l'Appendice la note 1, 3°.

F la flèche de fabrication, comptée depuis le plan passant par les arêtes de contact jusqu'à la face supérieure de la première feuille, le ressort étant libre.

F_1 la flèche géométrique, comptée depuis le plan passant par les arêtes de contact jusqu'a l'axe de la première feuille, sous véhicule chargé.

$2c$ la distance entre les arêtes de contact sous véhicule chargé.

Parmi les éléments qui étaient relatifs aux menottes,

d et β disparaissent.

g et par suite q deviennent nuls.

p devient égal à b, qui représente alors la distance entre le plan de contact des sellettes et le plan inférieur du brancard.

Enfin :

D représente la distance d'axe en axe des sellettes.

j conserve la même signification.

Ces deux dernières quantités pouvant être chacune imposée ou non imposée donnent lieu à quatre cas identiques à ceux considérés pour les ressorts avec menottes.

§ 10. — *Etablissement des relations géométriques.*

1° RESSORTS AVEC MENOTTES.

Il est indispensable pour la fabrication et le montage du ressort de déterminer sa flèche de fabrication, la distance d'axe en axe de ses rouleaux sous véhicule chargé, et la distance d'axe en axe des supports de suspension.

Flèche de fabrication. — Si l'on se rapporte à la figure 7, on verra que cette flèche a pour expression,

$$F = h - (H + f_1 + p) + f_2 \qquad (13)$$

f_1 et f_2 étant donnés par les formules suivantes :

$$f_1 = \frac{2\,(Q - Q_0)}{1000} f. \qquad (14)$$

$$f_2 = \frac{2\,Q}{1000} f \qquad (15)$$

De plus, la figure 7 montre que l'on a :

$$p = b - g \sin \beta \qquad (16)$$

Distance d'axe en axe des rouleaux. — La relation entre la longeur 2 L de la première feuille, la flèche géométrique F_1, la distance 2 C d'axe en axe des rouleaux sous véhicule chargé, et la quantité r doit être établie avec exactitude, afin d'en déduire l'écartement rigoureux entre les supports de suspension.

La valeur de la flèche géométrique est indiquée par la figure 7. Elle a pour expression,

$$F_1 = h - \left(H + f_1 + p - \frac{e}{2}\right) \qquad (17)$$

f_1 et p ayant les valeurs calculées ci-dessus.

La quantité r distance entre l'axe du rouleau et l'axe de la première feuille a pour valeur (*)

$$r = \frac{d + 3\,e}{2} \qquad (18)$$

Les éléments du problème sont donc : 2 L, 2 C, F_1 et r. Il est nécessaire de considérer en outre le rayon ρ de l'axe de la première feuille, sous véhicule chargé, et l'angle ω égal à la moitié de l'angle formé par les rayons qui passent par les axes des rouleaux, également sous véhicule chargé. On établit facilement (**) entre ces différentes quantités les relations suivantes :

$$\rho = \frac{C^2 + F_1^2 - r^2}{2\,(F_1 - r)} \qquad (19)$$

$$\sin^2 \frac{\omega}{2} = \frac{F_1 - r}{2(\rho - r)} \qquad (20)$$

$$L = \rho \times \text{Arc}\ \omega \qquad (21)$$

Si les données sont F_1 et C, r étant toujours connu, la formule (19) donne ρ, la formule (20) donne ω, et au moyen de ρ et ω, on calcule L par la formule (21). Mais si les données sont F_1 et L, il n'est pas possible d'obtenir directement la valeur de C, qui résulterait de l'élimi-

(*) Voir à l'Appendice, note I, 2°.
(**) Voir à l'Appendice, note IV, 1°.

nation de ρ et de ω entre les trois équations précédentes, élimination que la présence de l'angle ω sous forme d'arc et sous forme de ligne trigonométrique rend impossible.

On pourra alors procéder par tâtonnement en se donnant une première valeur de C que l'on obtiendra en écrivant approximativement (*)

$$C^2 = L^2 - F_1^2 \qquad (22)$$

Cette première valeur de C^2 substituée dans l'équation (19) donnera une première valeur de ρ, au moyen de laquelle on calculera l'arc ω par la formule (20). Enfin en mettant ces valeurs de ρ et de ω dans la formule (21), la valeur de L ainsi obtenue et comparée à celle qui est donnée indiquera le sens et la grandeur de la modification à faire subir à la valeur de C.

Lorsque la valeur de la quantité $(F_1 - r)$ sera inférieure à 20 ou 25 millimètres, il arrivera généralement que la valeur attribuée à C par la formule approchée :

$$C^2 = L^2 - F_1^2 \qquad (22)$$

sera suffisamment exacte pour n'avoir à subir aucune modification.

Lorsque la quantité $(F_1 - r)$ sera supérieure à 20 ou 25 millimètres, nous proposons d'employer la formule empirique suivante :

$$C^2 = L^2 - \frac{3}{2} F_1^2 \qquad (23)$$

qui, dans la grande majorité des cas, donnera immédiatement la valeur de C avec une approximation bien suffisante pour les besoins de la pratique (**); elle aura dans tous les cas l'avantage de réduire beaucoup les tâtonnements. Il sera bon enfin de vérifier la valeur de C ainsi obtenue au moyen des formules (19, 20 et 21).

Distance entre les boulons d'articulation des supports de suspension.

Après avoir déterminé la distance 2C d'axe en axe des rouleaux, on a immédiatement pour la distance D des boulons d'articulation.

$$D = 2C + 2q \qquad (24)$$

(*) Cette formule est celle que donne M. Phillips.

(**) Voir au chapitre V les résultats donnés par l'application de cette formule.

q étant déterminé par la relation (fig. 7).

$$q = g \cos \beta \qquad (25)$$

Distance entre le plan inférieur du brancard, et la partie saillante des brides du ressort.

La valeur de cette quantité nous sera utile pour la vérification du jeu qui reste, sous la charge statique, entre le brancard et le ressort; elle est donnée par la figure 7.

$$j = h - (H + s + v).$$

Or on peut, pour le cas présent, supposer que v, abaissement du châssis sous l'action du chargement, est égal à f_1, perte de flèche du ressort sous la charge $2\,Q - 2\,Q_0$ (*) donnée par la formule (14). On a donc :

$$j = h - (H + s + f_1) \qquad (26)$$

2° RESSORTS AVEC SELLETTES.

Il est nécessaire de déterminer, comme dans les ressorts avec menottes, la flèche de fabrication du ressort, la distance d'axe en axe des bouts refoulés sous véhicule chargé, et la distance d'axe en axe des sellettes.

Flèche de fabrication. — Si l'on se reporte à la figure 8, on verra que cette flèche a pour expression :

$$F = h - (H + f_1 + b) + f_2 \qquad (27)$$

f_1 et f_2 ayant les valeurs données par les formules (14 et 15).

Distance d'axe en axe des bouts refoulés.

La relation entre la longueur $2\,L$ de la première feuille, la flèche géométrique F_1 du ressort, la distance $2\,C$ entre les axes des bouts refoulés sous véhicule chargé, et la quantité r, s'établit comme dans le

(*) Voir la note sur les ressorts de suspension des véhicules de chemins de fer, par M. L. Rey. — *Société des Ingénieurs civils*, 1876, page 845.

cas des ressorts avec menottes. Cette relation conduira à la connaissance de la distance D d'axe en axe des sellettes.

La valeur de la flèche géométrique est indiquée par la figure 8 ; elle a pour expression :

$$F_1 = h - \left(H + f_1 + b - \frac{e}{2}\right) \qquad (28)$$

La quantité r, distance entre l'axe de la première feuille et l'arête de contact du bout refoulé, a pour valeur (*) :

$$r + \frac{e}{2} + 0^m,005 \qquad (29)$$

Les éléments du problème sont donc 2 L, 2 C, F_1 et r. Si de plus nous considérons le rayon ρ de l'axe de la première feuille, sous véhicule chargé, et le demi-angle au centre ω formé dans les mêmes conditions par les rayons passant par les axes des bouts refoulés, on établit facilement (**) les relations suivantes :

$$\rho = \frac{C^2 + (F_1 - r)^2}{2\,(F_1 - r)} \qquad (30)$$

$$\sin^2 \frac{\omega}{2} = \frac{F_1 - r}{2\rho} \qquad (31)$$

$$L = \rho \times \text{arc}\,\omega \qquad (21)$$

dont la dernière est identique à celle établie pour les ressorts avec menottes.

Les considérations au moyen desquelles on peut, connaissant trois des six éléments qui entrent dans ces formules, déterminer les trois autres sont analogues à celles développées plus haut pour les ressorts avec menottes. Les formules (30), (31) et (21) permettent de déterminer L si les données sont C et F_1, r étant toujours connu. Mais si les données sont L et F_1 la détermination directe de C n'est plus possible, comme nous l'avons dit plus haut.

On pourra alors procéder par substitutions successives en partant de la formule approchée :

$$C^2 = L^2 - (F_1 - r)^2$$

(*) Voir à l'Appendice la note I, 3°.
(**) Voir à l'Appendice la note IV, 2°.

mais on aura avantage dans tous les cas, à employer la formule empirique suivante :

$$C^2 = L^2 - \frac{4}{3}(F_1 - r)^2 \qquad (32)$$

On vérifiera la valeur de C^2 ainsi obtenue par les formules (30), (31) et (21).

Distance d'axe en axe des sellettes.

On admet en pratique que cette distance est égale à la distance entre les points de contact sous véhicule chargé. On a donc :

$$D = 2\,C \qquad (33)$$

La distance entre le plan inférieur du brancard et la partie saillante des brides du ressort a exactement la même valeur que dans les ressorts avec menottes.

§ 11. — *Influence de l'inclinaison des menottes* (*).

L'emploi des menottes a pour conséquence de produire un abaissement du châssis supérieur à la quantité dont descendent les extrémités du ressort, et d'augmenter la réaction verticale sur ces extrémités; de plus les menottes font supporter à la première feuille un effort longitudinal qui tend à la faire bâiller. Ces effets sont d'autant plus sensibles que l'angle β des menottes avec l'horizontale sous véhicule chargé est plus petit, et que l'angle γ, inclinaison moyenne de la première feuille sur l'horizontale, est plus grand (**).

Q étant la portion de charge verticale transmise par chacun des supports de suspension; S la réaction verticale de chaque extrémité du

(*) Voir la note sur les ressorts de suspension des véhicules de chemin de fer, par M. L. Rey; *Société des Ingénieurs civils*, 1876, page 845.

(**) γ peut être considéré comme étant l'inclinaison sur l'horizontale de la ligne qui joint le centre de la première feuille au centre du rouleau. On a alors, sous véhicule chargé :

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{F_1}{L} \qquad (34)$$

F_1 étant donné par la formule (17) :

$$F_1 = h - \left(H + f_1 + p - \frac{e}{2}\right).$$

ressort, T la tension longitudinale développée dans la première feuille, on a :

$$S = Q\left(1 + \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\operatorname{tg}\beta}\right) \tag{35}$$

$$T = \frac{Q}{\operatorname{tg}\beta \cos\gamma} \tag{36}$$

La valeur de S tirée de (35) et substituée dans la formule (2) donne comme première modification de la valeur de α :

$$\alpha' = \frac{e S L}{2 M n} \tag{37}$$

La réaction S devra être substituée à la charge Q toutes les fois que l'on voudra tenir compte de l'influence de l'inclinaison des menottes.

La tension T (formule 36), répartie sur la section de la première feuille, produira un allongement :

$$\alpha'' = \frac{T}{E a e} \tag{38}$$

Par suite la valeur définitive de α sera :

$$\alpha = \alpha' + \alpha'' \tag{39}$$

Cette valeur est évidemment supérieure à celle calculée par la formule (2), et il arrivera dans les applications qu'elle dépassera le maximum imposé, quelquefois d'une quantité notable. Il y a donc lieu de se rendre compte quelle est, dans chaque cas particulier, l'importance de cette augmentation ; nous verrons dans les exemples développés au chapitre suivant, qu'elle peut atteindre 0,000.3 à 0,000.5 suivant les cas.

CHAPITRE IV

MARCHE A SUIVRE DANS L'ÉTUDE D'UNE SUSPENSION

§ 12. — *Division en 4 cas.*

Nous avons vu précédemment (§ 9), que l'on peut considérer 4 cas différents dans la marche à suivre pour l'établissement d'une suspension, aussi bien pour les ressorts avec menottes que pour ceux avec sellettes ; quelques-unes des formules à employer sont seules différentes, et, dans l'étude de chacun de ces cas, nous noterons ces différences lorsqu'elles se présenteront.

Ier Cas. — D et *j* ne sont pas imposées.
IIe Cas. — D n'est pas donnée ; *j* est imposée en minimum.
IIIe Cas. — D est donnée ; *j* ne l'est pas.
VIe Cas. — D et *j* sont imposées.

Les données générales nécessaires pour l'étude de chacun des ressorts sont celles indiquées § 8.

§ 13. — Ier CAS.

D *et* j *ne sont pas imposées.*

Nous n'avons pas fait figurer parmi les données la largeur et l'épaisseur des feuilles afin de conserver au problème une plus grande généralité, et parce que la connaissanee de ces deux éléments n'est pas essentielle pour le calcul du ressort ; mais il arrive en réalité que ces deux quantités sont presque toujours imposées, ce qui évitera tout tâtonnement. S'il n'en était pas ainsi, on adopterait les dimensions courantes des lames employées dans les ressorts en service analogues à ceux qu'il s'agit d'établir. On sait d'ailleurs que le choix de ces éléments n'influe pas d'une manière sensible sur le poids de la matière employée, qui est seulement proportionnel à :

$$\frac{Q^2 f}{\alpha^2}$$

La largeur et l'épaisseur des feuilles étant donc supposées connues, on calculera la longueur approchée de la première feuille au moyen de la formule (6).

$$L = 0{,}048 \sqrt{\frac{Q e f}{a}}$$

$$\text{ou} \quad 2\,L = 0{,}096 \sqrt{\frac{Q e f}{a}}\ ;$$

et l'on arrondira s'il y a lieu, le chiffre trouvé par la formule, puis le nombre total des feuilles sera donné par la formule (7).

$$n = \frac{e\,Q\,L}{2\,M\,a}$$

la valeur de M se trouvera dans le tableau II placé à l'appendice. Le nombre des feuilles devant être entier, on prendra pour n le nombre entier qui se rapprochera le plus de la valeur calculée, si cette valeur en est voisine. Sinon, on essayera successivement chacun des deux nombres entiers consécutifs qui la comprennent, et l'on adoptera celui des deux qui s'accordera le mieux avec les données, suivant ce qu'indiqueront les formules (2) et (3).

Il faut ensuite vérifier si le jeu entre le brancard et la partie saillante des brides du ressort est suffisant ; ce jeu est donné par la formule (26).

$$j = h - (H + s + f_1)$$

dans laquelle f_1 a la valeur donnée par la formule (14).

$$f_1 = \frac{2\,(Q - Q_0)\,f}{1000}$$

Si ce jeu n'était pas trouvé suffisant, il faudrait, suivant ce qu'indique la formule (26), chercher à diminuer l'épaisseur du ressort ; un premier moyen qui se présente pour obtenir ce résultat est d'augmenter la largeur des feuilles sans rien changer à leur épaisseur, ce qui permettrait d'en réduire le nombre (formules 3 et 4). On peut encore agir sur la longueur du ressort, et sur l'épaisseur de ses feuilles ; mais ces deux éléments étant solidaires, il convient de voir comment variera l'épaisseur du ressort dans ce cas. Reprenons la formule (9).

$$H = \frac{36\,Q^2\,f}{K\,E\,a\,L\,\alpha^2}$$

On voit qu'à égalité de largeur des feuilles, l'épaisseur H sera inver-

sement proportionnelle à la longeur L ; l'augmentation de celle-ci aura donc pour conséquence une diminution de celle-là, mais avec une augmentation de l'épaisseur des lames conformément à la formule (5), et par suite une diminution de leur nombre. Inversement, on pourra augmenter l'épaisseur des lames pour obtenir une diminution de l'épaisseur totale du ressort, ce qui entraînera les mêmes conséquences que ci-dessus. Il pourrait arriver alors, soit que l'on ait à employer des feuilles trop larges ou trop épaisses, soit que la longueur du ressort se trouve incompatible avec celle du châssis du véhicule ; dans ce cas, il serait impossible d'établir le ressort dans les conditions de flexibilité demandées, et il faudrait diminuer la valeur de celle-ci.

Il est évident que l'on ne devra tenter ces essais qu'après avoir réduit au minimum la saillie s des brides du ressort (formule 26).

Si au contraire le jeu entre le brancard et la partie saillante des brides du ressort était trouvé trop considérable, on pourrait agir sur les mêmes éléments en sens inverse, c'est-à-dire diminuer la largeur des feuilles, ou leur épaisseur avec une diminution corrélative de la longueur du ressort. Si l'on était alors conduit à des feuilles trop étroites ou trop minces ou à une longueur de ressort trop faible, il y aurait lieu d'augmenter la flexibilité. On pourrait aussi diminuer la valeur de h en mettant une cale entre la boîte de graissage et le ressort de façon à élever le plan de repos de la dernière feuille sur la boîte.

La longueur de la première feuille et le nombre des feuilles étant déterminés, il sera facile d'en déduire l'étagement, dont la valeur est donnée par la formule (10).

$$l = \frac{L - L_1}{n - n'}$$

et par suite la longueur des autres feuilles ; mais cette longueur devant être pour chaque feuille un nombre rond, on sera conduit à modifier légèrement la valeur calculée pour l'étagement, et la même formule donnera pour nouvelle valeur de L_1

$$L_1 = L - (n - n')\, l$$

Le ressort étant ainsi déterminé par ces premiers calculs, il faudra en vérifier la flexibilité par la formule exacte (1).

$$f = \frac{500\, L^3}{3\, M} \left[\frac{2\, L^3 + (L - L_1)^3}{2\, n\, L^3 + n'(L - L_1)^3} \right]$$

Il faudra également vérifier la valeur de l'allongement α par la formule (2) ; mais si le ressort est avec menottes, on devra tenir compte de l'influence de leur inclinaison, en suivant exactement la marche indiquée chapitre III, § 2, qui conduira à la connaissance de la valeur exacte de α.

Pour compléter les données nécessaires à la fabrication du ressort, il faut calculer sa flèche de fabrication ; si le ressort est avec menottes, cet élément se calculera au moyen de la formule (13).

$$F = h - (H + f + p) + f_2$$

f_1, f_2 et p ayant les valeurs données par les formules (14), (15 et 16).

$$f_1 = \frac{2\,(Q - Q_0)\,f}{1000}$$

$$f_2 = \frac{2\;Q\;f}{1000}$$

$$p = b - g \sin \beta$$

Avec cette observation, que dans la première on emploiera, s'il y a lieu, la valeur exacte de f, et dans la seconde, on substituera S à Q si l'on veut tenir compte de l'influence de l'inclinaison des menottes.

Pour les ressorts avec sellettes, la flèche de fabrication se calculera par la formule (27).

$$F = h - (H + f_1 + b) + f_2$$

f_1 et f_2 ayant les valeurs données par les formules ci-dessus.

On devra ensuite dans les ressorts avec menottes, déterminer la distance d'axe en axe des rouleaux, sous véhicule chargé. Les données, dans le cas considéré, sont : la longueur 2 L et la flèche géométrique F_1 donnée par la formule (17).

$$F_1 = h - \left(H + f_1 + p - \frac{e}{2}\right).$$

On suivra alors la marche indiquée pour ce cas (§ 10, 1°). On calculera d'abord la valeur de r, qui est (formule 18) :

$$r = \frac{d + 3\,e}{2}$$

puis, suivant que la quantité $F_1 - r$ sera inférieure ou supérieure à

20 ou 25 millimètres, on emploiera pour calculer la valeur de C, la première ou la seconde des deux formules (22) ou (23).

$$C^2 = L^2 - F_1^2$$

$$C^2 = L^2 - \frac{3}{2} F_1^2$$

et l'on vérifiera, s'il y a lieu, la valeur de C ainsi obtenue en recalculant la valeur de L au moyen des formules (19), (20) et (21).

$$\rho = \frac{C^2 + F_1^2 - r^2}{2(F_1 - r)}$$

$$\sin^2 \frac{\omega}{2} = \frac{F_1 - r}{2(\rho - r)},$$

$$L = \rho \times \text{arc}\ \omega.$$

La distance entre les boulons d'articulation des supports de suspension s'obtiendra ensuite en calculant d'abord q par la formule (25).

$$q = g \cos \beta$$

puis on aura (formule 24) :

$$D = 2C + 2q.$$

Dans les ressorts avec sellettes, on aura à déterminer la distance d'axe en axe des bouts refoulés, et on suivra une marche identique à celle qui vient d'être indiquée, et qui est exposée (§ 10, 2°). On calculera la flèche géométrique par la formule (28),

$$F_1 = h - \left(H + f_1 + b - \frac{e}{2}\right)$$

dans laquelle r a pour valeur (29) :

$$r = \frac{e}{2} + 0^m,005$$

puis on calculera la valeur de C par la formule (32).

$$C^2 = L^2 - \frac{4}{3}(F_1 - r)^2$$

valeur que l'on pourra vérifier au moyen des formules (30), (31), et (21).

$$\rho = \frac{C^2 + (F_1 - r)^2}{2(F_1 - r)}$$

$$\sin^2 \frac{\omega}{2} = \frac{F_1 - r}{2\rho}$$

$$L = \rho \times \text{arc } \omega.$$

Enfin la distance d'axe en axe des sellettes sera (33) :

$$D = 2\,C.$$

Le poids du ressort peut être déterminé approximativement, *à priori*, au moyen des données, par la formule (12) :

$$P = 0{,}000.000.006.7.\ \frac{Q^2 f}{\alpha^2}.$$

Lorsque tous les éléments du ressort seront connus, la formule (11) donnera son poids exact :

$$P = ae\delta \left[2\,L\,n - (n - n')\,(n - n' - \frac{1}{2})\,l \right]$$

§ 14. — IIe Cas.

D n'est pas donnée ; j est imposée en minimum.

Dans ce cas on doit avoir entre les saillies extrêmes des brides du ressort et le plan inférieur du brancard une distance j dont le minimum est imposé. Or, la formule (26) donne :

$$j = h - (H + s + f_1)$$

le minimum de j étant imposé, on doit avoir :

$$h - (H + s + f_1) \geqq j$$

d'où :

$$H \leqq h - (j + s + f_1).$$

Si la valeur du second membre de cette inégalité paraissait *à priori* supérieure à l'épaisseur qu'il convient d'adopter pour le ressort, on rentrerait identiquement dans les conditions du cas précédent ; mais si cette valeur attribuée à l'épaisseur du ressort ne paraît pas exagérée, on prendra d'abord, en profitant de tout l'espace disponible.

$$H = h - (j + s + f_1.)$$

Au moyen de cette première valeur de l'épaisseur du ressort, on

pourra, en se donnant la largeur des feuilles, employer la formule (9), pour obtenir approximativement la longueur 2 L. Cette formule donne :

$$L = \frac{0,0138.\ Q^2 f}{E\, a\, H\, \alpha^2}.$$

Au moyen de cette valeur de L, on calculera l'épaisseur des feuilles par la formule (5).

$$e = \frac{433\, L^2\, \alpha}{Q f}.$$

Enfin le nombre des feuilles sera :

$$n = \frac{H}{e}.$$

Il pourrait arriver que l'on fût conduit ainsi à une longueur de ressort trop grande ou à une épaisseur de feuille trop considérable; la formule (9) montre que dans ce cas on aurait intérêt à augmenter l'épaisseur du ressort, ce que l'on pourra faire, dans certains cas, en diminuant d'autant la valeur de S, c'est-à-dire en diminuant la saillie des brides du ressort. Si cette modification n'était pas possible, ou ne donnait qu'une épaisseur de ressort insuffisante, il n'y aurait alors d'autres ressources que d'augmenter la largeur des feuilles ; et enfin si l'on n'avait pas cette faculté, il serait impossible d'établir le ressort dans les conditions de flexibilité demandées, et il y aurait lieu de diminuer la valeur de celle-ci.

Après avoir déterminé la longueur 2 L, la section et le nombre des feuilles, on rentrera exactement dans les conditions du cas précédent; on calculera de même l'étagement, on procédera à la vérification de la flexibilité et de l'allongement. Enfin la flèche de fabrication, la distance des supports de suspension ou des sellettes et le poids du ressort se calculeront identiquement comme dans le premier cas.

§ 15. — IIIe Cas.

D *est donnée;* j *ne l'est pas.*

S'il s'agit d'un ressort avec menottes, la distance D d'axe en axe des boulons d'articulation des supports de suspension étant donnée, on

en déduit immédiatement la distance 2 C d'axe en axe des rouleaux du ressort (formule 24) :

$$2\,C = D - 2\,q,$$

q étant déterminé par la formule (25) :

$$q = g \cos \beta.$$

S'il s'agit d'un ressort avec sellettes, la distance D d'axe en axe des sellettes étant donnée, on a immédiatement la distance 2 C d'axe en axe des bouts refoulés, qui lui est égale (formule 33).

$$2\,C = D.$$

On pourra ensuite considérer, dans le premier calcul approximatif qui déterminera l'épaisseur et le nombre des feuilles, 2 L comme étant égal à 2 C. On procédera alors comme dans le deuxième cas pour calculer l'épaisseur et le nombre des feuilles, ce qui conduira à la connaissance de l'épaisseur du ressort ; la détermination de ces éléments ainsi que de la perte de flèche sous l'action du chargement, permettront d'obtenir le jeu entre le brancard et la partie saillante des brides du ressort. Si ce jeu était trouvé insuffisant, il faudrait diminuer l'épaisseur du ressort ; mais si l'on se reporte à la formule (9) :

$$H = \frac{36.\,Q^2 f}{K\,E\,a\,L\,\alpha^2}$$

on voit que, la longueur du ressort ne pouvant être modifiée puisque D est imposée, il n'y a d'autre moyen que d'augmenter la largeur des feuilles, et si cette augmentation n'est pas admise, il sera impossible d'établir le ressort avec la flexibilité donnée qu'il faudra alors diminuer.

Après ces premières déterminations, on pourra calculer la valeur exacte de 2 L ; en effet, la distance 2 C résultant directement des données, on opérera comme suit :

Si le ressort est avec menottes, on calculera F_1 et r par les formules (17) et (18) :

$$F_1 = h - \left(H + f_1 + p - \frac{e}{2}\right),$$

$$r = \frac{d + 3\,e}{2},$$

ensuite, on obtiendra directement la valeur de L en portant ces valeurs de C, de F_1 et de r dans les formules (19), (20) et (23).

$$\rho = \frac{C^2 + F_1^2 - r^2}{2(F_1 - r)},$$

$$\sin^2 \frac{\omega}{2} = \frac{F_1 - r}{2(\rho - r)},$$

$$L = \rho \times \text{arc}\ \omega.$$

Si le ressort est avec sellettes, F_1 et r se calculeront par les formules (28) et (29) :

$$F_1 = h - \left(H + f_1 + b - \frac{e}{2}\right),$$

$$r = \frac{e}{2} + 0^m,005$$

et le calcul de L se fera comme pour les ressorts avec menottes, mais en employant les formules (30), (31) et (21).

$$\rho = \frac{C^2 + (F_1 - r)^2}{2(F_1 - r)},$$

$$\sin^2 \frac{\omega}{2} = \frac{F_1 - r}{2\rho},$$

$$L = \rho \times \text{arc}\ \omega.$$

L'étude du ressort se terminera alors exactement comme dans les deux cas précédents.

§ 16. — IVe Cas.

D *est donnée, et* j *est imposée en minimum.*

L'obligation de conserver entre le plan inférieur du brancard et la partie saillante des brides du ressort une distance dont le minimum est fixé, nous conduit à la même conclusion que celle à laquelle nous sommes arrivé en développant le second cas, c'est-à-dire :

$$H \leqq h - (j + s + f_1).$$

Mais de plus, la distance D étant également donnée, on en déduit

comme dans le troisième cas, la distance 2 C ; considérant encore, pour un premier calcul, 2 L comme approximativement égal à 2 C, la formule (9) ne contient plus alors d'autre inconnue que la largeur des feuilles ; on en tire donc :

$$a = \frac{0,0138 . Q^2 f}{E H L . \alpha^2}.$$

Cette valeur de a sera un minimum, puisque l'on aura pris pour H la valeur maxima ; on sera souvent conduit à l'augmenter pour adopter une dimension courante, ce qui donnera pour H une nouvelle valeur plus petite que la précédente, et, par suite, satisfaisant à l'inégalité ci-dessus.

Il est à remarquer que dans ce cas la largeur minima des feuilles résulte directement des données du problème ; si cette largeur n'était pas compatible avec les diverses conditions que le ressort doit remplir au point de vue de son établissement sur le véhicule, le changement de cette dimension entraînerait forcément une modification corrélative de la flexibilité.

On calculera ensuite l'épaisseur et le nombre des feuilles comme au premier cas, la valeur exacte de 2 L comme au troisième cas, et le reste de l'étude du ressort s'achèvera comme dans chacun des cas précédents.

CHAPITRE V

APPLICATIONS NUMÉRIQUES DES FORMULES AUX RESSORTS DE SUSPENSION.

1° RESSORTS AVEC MENOTTES.

§ 17. — Ier Cas.

D *et* j *ne sont pas imposées.*

Données générales du problème :

$2\ Q_0 = 1150^k$
$2\ Q = 1450$
$f = 0^m,065$
$E = 20 \times 10^9$
$n' = 1$
$2\ L_1 = 0,080$ au minimum.
$\alpha = 0,003$ au maximum, en prévision de l'influence de l'inclinaison des menottes, on prendra dans les calculs : $\alpha = 0,002.5$.

Autres données qui influent sur l'établissement de la suspension :

$h = 0^m,250$
$b = 0,120$
$d = 0,028$
$g = 0,080$
$s = 0,050$
$\beta = 45°$

Section des feuilles.

L'indétermination du problème nous permet de choisir à volonté deux des éléments du ressort ; nous nous donnerons la largeur et l'épaisseur des feuilles, et nous adopterons pour ces deux éléments les valeurs :

$$a = 0,075 \qquad\qquad e = 0,010$$

Longueur du ressort.

La longueur du ressort sera donnée par la formule (6).

$$2\,L = 0,096\sqrt{\frac{725 \times 0,010 \times 0,065}{0,002.5}}$$
$$= 1^{m},318,$$

nous prendrons $2\,L = 1^{m},320$ d'où $L = 0,660$.

Nombre des feuilles.

La formule (7) donne le nombre des feuilles ; on trouve (voir le tableau II), que la valeur de M correspondant à la section transversale adoptée est : $M = 125$; donc :

$$n = \frac{0,010 \times 725 \times 0,660}{2 \times 125 \times 0,002.5} = 7,7$$

soit 8 feuilles.

Vérification relative au jeu j.

La perte de flèche du ressort sous l'action du chargement sera (formule (14) :

$$f_1 = \frac{300 \times 0,065}{1000} = 0,019.5.$$

Soit $0^{m},020$.

L'épaisseur du ressort est d'ailleurs :

$$H = ne = 8 \times 0,010 = 0^{m},080.$$

La formule (26) donne alors pour le jeu entre le plan inférieur du brancard et la partie saillante des brides du ressort :

$$j = 0,250 - (0,080 + 0,050 + 0,020) = 0^{m},100.$$

Ce jeu étant plus que suffisant, on peut continuer l'étude du ressort.

Étagement.

L'étagement est donné par la formule (10).

$$l = \frac{0,660 - 0,040}{8 - 1} = 0,088.5.$$

Nous prendrons $l = 0,087.5$ afin d'arrondir la longueur des feuilles à 5mm. La longueur 2 L_1 est alors légèrement modifiée ; on a en effet (formule 10).

$$L_1 = L - (n - n')l = 0,660 - 7 \times 0,087.5$$
$$= 0,047.5 \qquad \text{d'où :} \qquad 2\,L_1 = 0,095.$$

Vérification de la flexibilité.

La formule (1) permet de vérifier la flexibilité, au moyen des éléments déjà déterminés :

$$f = \frac{500 \times \overline{0,660}^3}{3 \times 125}\left[\frac{2 \times \overline{0,660}^3 + \overline{0,612.5}^3}{2 \times 8 \times \overline{0,660}^3 + \overline{0,612,5}^3}\right] = 0,063.9$$

Soit : 0,064

au lieu de la valeur demandée : 0,065.

Vérification de l'allongement.

La valeur de α, calculée au moyen de la formule (2) est :

$$\alpha = \frac{0,010 \times 725 \times 0,660}{2 \times 125 \times 8} = 0,002.39.$$

Mais l'inclinaison des menottes a pour effet de produire aux extrémités du ressort une réaction S plus grande que la charge Q et dont la valeur est donnée par la formule (35). Pour la calculer, nous déterminerons d'abord la quantité p par la formule (16) :

$$p = 0,120 - 0,080 \times \sin 45° = 0^m,063.$$

Puis la flèche géométrique F_1 par la formule (17) :

$$F_1 = 0.250 - (0,080 + 0,020 + 0,063 - 0,005)$$
$$= 0^m,092.$$

Ensuite, l'inclinaison moyenne de la première feuille par la formule (34).

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{0,092}{0,660} = 0,139$$

Enfin la réaction S est donnée par la formule (35) :

$$S = 725\left(1 + \frac{0,139}{\operatorname{tg} 45^\circ}\right) = 826^{k}.$$

La formule de α, calculée au moyen de S devient donc (formule 37) :

$$\alpha' = \frac{0,010 \times 826 \times 0,660}{2 \times 125 \times 8} = 0,002.72.$$

Enfin, la première feuille supporte une tension longitudinale dont la valeur est donnée par la formule (36) ;

$$T = \frac{725}{1 \times 0,994} = 729^{k}.$$

Cette tension longitudinale donne lieu à un allongement supplémentaire (formule 38).

$$\alpha'' = \frac{729}{20 \times 10^9 \times 0,075 \times 0,010} = 0,000.05.$$

Enfin l'allongement total de la première feuille est (formule 39) :

$$\alpha = \alpha' + \alpha'' = 0,002.72 + 0,000.05 = 0,002.77.$$

Soit une augmentation de 0,000.38 provenant du fait de l'inclinaison des menottes.

Flèche de fabrication.

La perte de flèche que subit le ressort sous l'action de la charge totale est donnée par la formule (15) dans laquelle on substituera 2 S à 2 Q ; et la flexibilité exacte à la flexibilité demandée :

$$f_1 = \frac{2 \times 826 \times 0,064}{1000} = 0^{m},106.$$

La flèche de fabrication sera ensuite donnée par le formule (13) :

$$F = 0,250 - (0,080 + 0,020 + 0,063) + 0,106 = 0^{m},193.$$

Distance d'axe en axe des rouleaux.

Nous avons déjà vu que la flèche géométrique $F_1 = 0,092$. D'ailleurs, (formule 18) :

$$r = \frac{0,028 + 3 \times 0,010}{2} = 0^m,029$$

d'où : $$F_1 - r = 0,092 - 0,029 = 0^m,063.$$

Cette quantité étant supérieure à 20 ou 25 millim., nous calculerons la distance 2 C par la formule empirique (23) qui donne :

$$C^2 = \overline{0,660}^2 - \frac{3}{2} \times \overline{0,092}^2 = 0,4229.$$

d'où $$C = 0^m650,3.$$

On peut vérifier la valeur de C^2 ainsi obtenue en recalculant celle de L par les formules (19), (20) et (21) ; la première donne :

$$\rho = \frac{0,4229 + \overline{0,092}^2 - \overline{0,029}^2}{2 \times 0,063} = 3^m,417.$$

La seconde donne :

$$\omega = 11^\circ\ 04'$$

Et enfin la troisième :

$$L = 3^m,417 \times \text{arc}\ \omega = 0^m,659.98$$

au lieu de la valeur donnée, $0^m,660$.

On peut donc prendre la valeur dé C donnée par la formule (23) :

$$C = 0^m,650$$

d'où : $$2\ C = 1^m,300.$$

Distance d'axe en axe des boulons d'articulation des supports de suspension.

On calculera d'abord la quantité q au moyen de la formule (25) :

$$q = 0,080 \cos 45^\circ = 0^m,056.5$$

d'où $$2\ q = 0^m,113.$$

Puis (formule 24) :

$$D = 1{,}300 + 0{,}113 = 1^m{,}413.$$

Poids du ressort.

Le poids évalué au moyen des données par la formule approximative (12) est :

$$P = \frac{6{,}7}{10^9} \times \frac{\overline{726}^2 \times 0{,}065}{\overline{0{,}002.5}^2} = 37^k.$$

Le poids calculé exactement au moyen de la formule (11) est :

$$P = 0{,}075 \times 0{,}010 \times 7800\,[2 \times 8 \times 0{,}660 - 7 \times 6{,}5 \times 0{,}087.5]$$
$$= 38^k{,}5.$$

Si l'on ajoute à ce poids celui des deux rouleaux, soit 2^k environ, on a pour le poids total : $40^k, 5$.

§ 18. — IIe Cas.

D *n'est pas donnée ;* j *est imposée en minimum.*

Données générales du problème.

$2\ Q_o = 1850^k$.
$2\ Q = 2450^k$.
$f = 0^m{,}100$.
$E = 20 \times 10^9$.
$n' = 1$.
$2\ L_1 = 0^m{,}180$.
$\alpha = 0{,}003.3$ au maximum. Pour tenir compte de l'influence de l'inclinaison des menottes, on prendra dans les calculs $\alpha = 0{,}002.8$.
$j = 0^m{,}060$ au minimum.

Autres données qui influent sur l'établissement de la suspension.

$h = 0^m{,}278$.
$b = 0{,}090$.

$d = 0,032.$
$g = 0,080.$
$s = 0,050.$ (Cette quantité pourra, s'il y a lieu, être réduite à $0^m,023$ en changeant le mode d'attache du ressort sur la boîte).
$\beta = 40°.$

Epaisseur du ressort.

Les considérations développées au chapitre IV, § 14, montrent que l'épaisseur maxima du ressort résulte des données mêmes du problème. On calculera d'abord, par la formule (14) la perte de flèche que doit subir le ressort sous l'action du chargement :

$$f_1 = \frac{600 \times 0,100}{1000} = 0^m,060$$

puis en portant cette valeur dans la formule (26) résolue par rapport à H,

$$H \leqq 0,278 - (0,060 + 0,050 + 0,060) = 0^m,108.$$

Nous adopterons pour H cette dernière valeur.

Longueur du ressort.

Les conditions dans lesquelles le ressort doit être établi nous conduisent à prendre des feuilles de 90^{mm} de largeur. En faisant dans la formule (9) $H = 0^m,108$ et $a = 0.090$, nous aurons :

$$L = \frac{0,0138 \times \overline{1225}^2 \times 0,100}{20 \times \overline{10}^9 \times 0,090 \times 0,108 \times \overline{0,002.8}^2} = 1^m,359.$$

Cette valeur, qui conduirait à un ressort de $2^m,70$ de longueur, étant trop considérable, il y a lieu d'augmenter l'épaisseur du ressort, ce que l'on peut faire en employant pour l'attache du ressort sur la boîte des brides qui permettent de réduire la saillie s; on peut avoir ainsi $s = 0^m,023$, d'où :

$$H = 0,278 - (0,060 + 0,023 + 0,060) = 0^m,135.$$

Nous adopterons pour H cette dimension, ce qui donne :

$$L = \frac{0,0138 \times \overline{1225}^2 \times 0,100}{20 \times \overline{10}^9 \times 0,090 \times 0,135 \times \overline{0,002.8}^2} = 1^m,087.$$

Nous prendrons $L = 1^m,100$ d'où : $2L = 2^m,200$.

Epaisseur des feuilles.

Elle est donnée par la formule (5) ;

$$e = \frac{433 \times \overline{1,100}^2 \times 0,02.8}{1225 \times 0,100} = 0^m,012.8.$$

Soit : $0^m,012$.

Nombre des feuilles.

Il est donné par la formule (7) ; mais si l'on remarque que l'on a déjà l'épaisseur du ressort et celle des feuilles, on aura plus simplement :

$$n = \frac{H}{e} = \frac{0,135}{0,012} = 11,2.$$

Soit 11 feuilles ; l'épaisseur du ressort devient alors :

$$H = 11 \times 0,012 = 0^m,132 < 0^m,135.$$

Etagement.

L'étagement est donné par la formule (10) :

$$l = \frac{1,100 - 0,090}{11 - 1} = 0^m,101,$$

nous prendrons $l = 0^m,100$, ce qui modifie légèrement la longueur $2L_1$; on a en effet :

$$L_1 = 1,100 - 10 \times 0,100 = 0^m,100$$

d'où : $$2L_1 = 0^m200.$$

Vérification de la flexibilité.

Cette vérification se fait au moyen de la formule (1) ; la valeur de M correspondant à la section de feuilles employées est :

$$M = 259,2$$

On a donc :

$$f = \frac{500 \times \overline{1,100}^3}{3 \times 259,2} \left[\frac{2 \times \overline{1,100}^3 + \overline{1,000}^3}{2 \times 11 \times \overline{1,100}^3 + \overline{1,000}^3}\right] = 0^m,103,5.$$

Soit $0^m,103$ au lieu de la valeur demandée $0^m,100$.

Vérification de l'allongement.

La valeur de α, calculée au moyen de la valeur de 2 Q, est donnée par la formule (2).

$$\alpha = \frac{0,012 \times 1225 \times 1,100}{2 \times 259,2 \times 11} = 0,002.84.$$

Mais si l'on tient compte de l'influence de l'inclinaison des menottes, il faut, pour obtenir la réaction réelle à chaque extrémité, calculer d'abord les quantités suivantes :

Formule (16) :

$$p = 0,090 - 0,080 \times \sin 40^\circ = 0^m,039.$$

Formule (17) :

$$F_1 = 0,278 - (0,132 + 0,060 + 0,039 - 0,006)$$
$$= 0,053.$$

Formule (34) :

$$\text{tg}\, \gamma = \frac{0,053}{1,100} = 0,0482.$$

Enfin on a (formule 35) :

$$S = 1225 \left(1 + \frac{0,0482}{0,839} \right) = 1295^k.$$

Si l'on substitue cette valeur de S à celle de Q on a (formule 37) :

$$\alpha' = \frac{0,012 \times 1295 \times 1,100}{2 \times 259,2 \times 11} = 0,003.$$

Enfin la première feuille subit une tension longitudinale dont la valeur est donnée par la formule (36) :

$$T = \frac{1225}{0,839 \times 0,999} = 1460^k.$$

Cette tension produit un allongement donné par la formule (38) :

$$\alpha'' = \frac{1460}{20 \times 10^9 \times 0,090 \times 0,012} = 0,000.07.$$

l'allongement total sera donc formule (39) :

$$\alpha = 0,003 + 0,000.07 = 0,003.07,$$

soit une augmentation de 0,000.23 provenant du fait de l'inclinaison des menottes.

Flèche de fabrication.

La perte de flèche du ressort sous l'action de la charge totale 2 S s'obtiendra au moyen de la formule (15), dans laquelle on substituera S à Q et la valeur exacte de f à la valeur demandée ; on aura donc :

$$f_2 = \frac{2590 \times 0,103}{1000} = 0^m,267.$$

La flèche de fabrication est ensuite donnée par la formule (13).

$$F = 0.278 - (0,132 + 0,060 + 0,039) + 0,277 = 0^m,314.$$

Distance d'axe en axe des rouleaux.

On a d'abord (formule 18) :

$$r = \frac{0,032 + 0,036}{2} = 0^m,034,$$

d'où

$$F_1 - r = 0,053 - 0,034 = 0^m,019.$$

Cette quantité étant plus petite que 20 ou 25 millimètres, nous emploierons pour calculer la distance 2 C la formule approchée (22).

$$C^2 = \overline{1,100}^2 - \overline{0,053}^2 = 1.2072$$

d'où :

$$C = 1^m,098.8.$$

Cette valeur de C peut être vérifiée en calculant d'abord ρ au moyen de formule (19).

$$\rho = \frac{1,2072 + \overline{0,053}^2 - \overline{0,034}^2}{2 \times 0,019} = 31^m,812,$$

puis ω par la formule (20) qui donne :

$$\sin^2 \frac{\omega}{2} = \frac{0,019}{63,555},$$

d'où :

$$\omega = 1° \, 58' \, 53''.$$

Enfin, on aura L par la formule (21) :

$$L = 31,812 + 0,034.582 = 1^m,100.1.$$

Au lieu de : $1^m,100.$

Ce qui montre que la valeur de C peut être prise égale à $1^m,099$, d'où :

$$2\,C = 2^m,198.$$

Distance d'axe en axe des boulons d'articulation des supports de suspension.

On calculera d'abord la quantité q par la formule (25) :

$$q = 0,080 \times \cos 40^\circ = 0,061.$$

Puis la formule (24) donne la distance cherchée :

$$D = 2,198 + 2 \times 0,061 = 2^m,320.$$

Poids du ressort.

L'évaluation approximative faite au moyen des données par la formule (12), donne :

$$P = \frac{6,7}{10^9} \times \frac{\overline{1225}^2 \times 0,100}{\overline{0,002,8}^2} = 128^k.$$

Le poids exact, calculé par la formule (11) est :

$$P = 0,090 \times 012 \times 7800\,[2 \times 11 \times 1,100 - 10 \times 9,5 \times 0,100$$
$$= 124^k,$$

Si à ce poids on ajoute celui des rouleaux, soit environ 3^k, le poids total devient 127^k.

§ 19 — IIIe CAS.

D *est donnée ;* j *ne l'est pas.*

Données générales du problème.

$2\,Q_0 = 1.250^k$
$2\,Q = 5.000^k$
$f = 0^m,012$
$E = 20 \times 10^9$

$n' = 1$

$2\,L_1 = 0^m,100$; au minimum ; $\alpha = 0,003.5$, à cause de l'influence de l'inclinaison des menottes, on prendra dans les calculs $\alpha = 0,003$;

$D = 1^m,200$.

Autres données qui influent sur l'établissement de la suspension :

$h = 0^m,275$
$b = 0^m,115$
$d = 0^m,031$
$g = 0^m,110$
$s = 0^m,025$
$\beta = 45°$.

Détermination approximative de la longueur du ressort.

La distance imposée pour les supports de suspension permet d'obtenir une valeur approchée de la longueur du ressort. En effet, en calculant d'abord la quantité q par la formule (24).

$$q = 0,110 \cos 45° = 0^m,077.$$

La formule (25) donne ensuite :

$$2\,C = 1,200 - 2 \times 0,077 = 1,046$$

d'où :
$$C = 0,523.$$

On peut considérer, pour un premier calcul, L comme égal à C et on prendra, pour la détermination de la section et du nombre des feuilles,

$$L = 0,523.$$

Epaisseur des feuilles.

La formule (5) donne :

$$e = 433 \times \frac{\overline{0,523}^2 \times 0,003}{2.500 \times 0,012} = 0,011.8.$$

Soit $e = 0^m,012$.

Nombre des feuilles.

Si nous adoptons une largeur de feuille de $0^m,075$, la formule (7) nous donnera, avec la valeur $N = 216$:

$$n = \frac{0,012 \times 2,500 \times 0,523}{2 \times 216 \times 0,003} = 12,1$$

soit $n = 12$ feuilles.

Vérification relative au jeu j.

La perte de flèche du ressort sous l'action du chargement est (formule 14) :

$$f_1 = \frac{3750 \times 0,012}{1000} = 0^m,045.$$

L'épaisseur du ressort étant :

$$H = 12 \times 0,012 = 0^m,144.$$

On a d'après la formule (26) :

$$j = 0,275 - (0,144 + 0,025 + 0,045) = 0^m,061.$$

Ce jeu étant jugé suffisant, les dimensions déterminées pour les feuilles du ressort peuvent être conservées.

Calcul exact de la longueur du ressort.

La quantité p étant donnée par la formule (16) :

$$p = 0,115 - 0,110 \times \sin 45^\circ = 0^m,037.$$

on peut au moyen de la formule (17) calculer la flèche géométrique

$$F_1 = 0,275 - (0,144 + 0,045 + 0,037 - 0,006) = 0^m,055.$$

D'ailleurs on a (formule 18) :

$$r = \frac{0,031 + 0,036}{2} = 0^m,033,$$

d'où :

$$F_1 - r = 0,055 - 0,033 = 0^m,022.$$

On peut maintenant calculer la longueur exacte du ressort. En effet la formule (19) donne :

$$\rho = \frac{\overline{0,523}^2 + \overline{0,055}^2 - \overline{0,033}^2}{2 \times 0,022} = 6^m,260.$$

La formule (20) :

$$\sin^2 \frac{\omega}{2} = \frac{0,022}{2 \times 6,227}$$

d'où : $$\omega = 4° \, 49' \, 04''.$$

Enfin la formule (21) donne :

$$L = 6,260 \times \text{arc } \omega = 0,526.4$$

Comme il convient d'arrondir la longueur 2 L à 10^{mm} ou L à 5^{mm}, nous prendrons :

$$L = 0^m,525 \text{ ou } 2\,L = 1^m,050.$$

Cette modification, qui donne à la longueur de la première feuille 3 millimètres environ de moins qu'elle ne devrait avoir, enlève également 3 millimètres à la distance d'axe en axe des rouleaux, qui devient :

$$2\,C = 1,046 - 0,003 = 1^m,043.$$

La distance D d'axe en axe des boulons d'articulation des supports de suspension restant constante et égale à 1^m,200, le changement ci-dessus a pour effet de modifier légèrement l'inclinaison des menottes. On a alors :

$$q = \frac{D - 2\,C}{2} = \frac{1,200 - 1,043}{2} = 0^m,078.5$$

par suite :

$$\text{Cos } \beta = \frac{q}{g} = \frac{0,0785}{0,110} = 0,7136$$

d'où : $$\beta = 44° \, 28'.$$

Étagement.

L'étagement est donné par la formule 10)

$$l = \frac{0,525 - 0,050}{12 - 1} = 0^m,043.2$$

Nous adopterons : $l = 0^m,042.5$, ce qui modifiera légèrement la valeur de 2 L_1 ; en effet :

$$L_1 = 0,525 - 11 \times 0,042.5 = 0.057.5$$

d'où : $$2\,L_1 = 0^m,115 \text{ au lieu de } 0^m,100.$$

Vérification de la flexibilité.

Les éléments que nous venons de déterminer nous permettent de calculer la flexibilité exacte du ressort par la formule (1).

$$f = \frac{500 \times \overline{0,525}^3}{3 \times 216} \left[\frac{2 \times \overline{0,525}^3 + \overline{0,467.5}^3}{2 \times 12 \times \overline{0,525}^3 + \overline{0,467.5}^3} \right] = 0^m,012.2$$

au lieu de la valeur imposée $0^m,012$.

Vérification de l'allongement.

La valeur de α, calculée par la formule (2) est :

$$\alpha = \frac{0,012 \times 2,500 \times 0,525}{2 \times 216 \times 12} = 0,003.04$$

Si l'on veut tenir compte de l'influence de l'inclinaison des menottes, on aura d'abord par la formule (34) :

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{0,055}{0,525} = 0,1047$$

puis on a, formule (35), en prenant $\beta = 44° \, 28'$,

$$S = 2500 \left(1 + \frac{0,10\,47}{0,98\,15} \right) = 2767^k.$$

La réaction S, qui s'exerce à chaque extrémité du ressort, donne pour nouvelle valeur de α (formule 37) :

$$\alpha' = \frac{0,012 \times 2767 \times 0,525}{2 \times 216 \times 12} = 0,003.36$$

Enfin, la tension longitudinale développée dans la première feuille se calcule par la formule (36) :

$$T = \frac{2500}{0,9815 \times 0,9945} = 2561^k$$

et donne lieu a un allongement supplémentaire (formule 38) :

$$\alpha'' = \frac{2561}{20 \times 10^9 \times 0,075 \times 0,012} = 0,000.14$$

La somme de ces deux allongements est (formule 39) :

$$\alpha = 0,003.36 + 0,000.14 = 0,003.50$$

Ainsi l'augmentation de α, par suite de l'inclinaison des menottes, atteint 0,000.46 : soit près de $\frac{1}{2}$ millième.

Flèche de fabrication.

La perte de flèche du ressort sous l'action de la charge totale s'obtiendra en substituant S à Q dans la formule (15) :

$$f_2 = \frac{2 \times 2762 \times 0,012}{1000} = 0^{m},066$$

la flèche de fabrication s'obtiendra ensuite par la formule (13) :

$$F = 0,275 - (0,144 + 0,045 + 0,037) + 0,066 = 0^{m},115.$$

Poids du ressort.

L'évaluation approximative du poids du ressort au moyen des données peut se faire par la formule (12) :

$$P = \frac{6,7}{10^9} \times \frac{\overline{2500}^2 \times 0,012}{\overline{0,003}^2} = 56^{k}.$$

Le poids exact s'obtiendra au moyen de la formule (11) :

$$P = 0,090 \times 0,012 \times 7800 \times$$
$$[0,525 \times 2 \times 12 - 11 \times 10,5 \times 0,042.5] = 54^{k}.$$

Si à ce poids on ajoute celui des rouleaux, soit environ $2^{k},5$ on a pour le poids total :

$$P = 56^{k},5.$$

§ 20 — IVe Cas.

D *est donnée ;* j *est imposée en minimum.*

Données générales du problème.

$2\ Q_0 = 1100^{k}$
$2\ Q = 3600^{k}$
$f = 0^{m},018$
$E = 20 \times 10^9$
$n' = 1$

$2 L_1 = 0,075$ au minimum.

$\alpha = 0.003.5$ à cause de l'influence de l'inclinaison des menottes, on prendra dans les calculs $\alpha = 0,003$.

$j = 0^m,050$ au minimum.

$D = 1^m,100$.

Autres données qui influent sur l'établissement de la suspension.

$h = 0^m,257$
$b = 0,130$
$d = 0,035$
$g = 0,100$
$s = 0,050$
$\beta = 45°$.

Détermination approximative de la longueur du ressort

On peut d'abord calculer la quantité q' donnée par la formule (25) :

$$q = 0,100 \cos 45° = 0^m,071$$

puis la distance des rouleaux, formule (24) :

$$2\,C = 1,100 - 2 \times 0,071 = 0^m,958$$

d'où :

$$C = 0^m,479.$$

Pour le calcul de la section et du nombre des feuilles, on peut considérer approximativement L comme étant égale à C ; on prendra donc :

$$L = 0^m,479.$$

Détermination de l'épaisseur du ressort.

Le jeu entre le plan inférieur du brancard et la partie saillante des brides du ressort étant imposé, il en résulte pour le ressort une épaisseur maxima que l'on déterminera comme il a été indiqué au chapitre IV § 16. On calculera d'abord la perte de flèche du ressort sous l'action du chargement par la formule (14).

$$f_1 = \frac{2.500 \times 0,018}{1000} = 0^m,045.$$

puis on aura :

$$H \leqq 0,257 - (0,050 + 0,050 + 0,045) = 0^m,112.$$

Nous prendrons pour H cette valeur maxima.

Longueur des feuilles.

On a vu que dans le cas présent, le minimum de la largeur des feuilles se trouve imposé par les conditions mêmes du problème. Si l'on substitue dans la formule (9) la valeur L déterminée plus haut et la valeur adoptée pour H, on a :

$$a = \frac{0,0138 \times \overline{1800}^2 \times 0,018}{20 \times 10^9 \times 0,479 \times 0,112 \times \overline{0,003}^2} = 0^m,083.$$

Ce résultat montre que l'on ne peut employer les feuilles de la largeur usuelle $0^m,075$, ni même des feuilles de $0^m,080$. On adoptera donc une largeur de $0^m,090$.

Epaisseur des feuilles.

On calculera ensuite l'épaisseur des feuilles au moyen de la formule (5).

$$e = \frac{433 \times \overline{0,479}^2 \times 0,003}{1800 \times 0,018} = 0,009.2$$

soit : $0^m,009$.

Nombre des feuilles.

Le nombre des feuilles s'obtiendra par la formule (7), M étant égal à 109,35 :

$$n = \frac{0,009 \times 1800 \times 0,479}{2 \times 109,35 \times 0,003} = 11,8$$

soit 12 feuilles.

L'épaisseur du ressort sera donc :

$$H = ne = 12 \times 0,009 = 0^m,108.$$

Valeur inférieure à celle imposée comme minimum ($0^m,112$).

Calcul exact de la longueur du ressort.

On calculera d'abord la quantité p au moyen de la formule (16) :

$$p = 0,130 - 0,100 \times \sin 45^\circ = 0^m,059.$$

On a ensuite (formule 17) la flèche géométrique :

$$F_1 = 0,257 - (0,108 + 0,045 + 0,059 - 0,004) = 0^m,049$$

de plus, (formule 18) :

$$r = \frac{0,035 + 0,027}{2} = 0^{m},031$$

d'où :

$$F_1 - r = 0,049 - 0,031 = 0^{m},018.$$

On peut maintenant calculer ρ, ω et L.

La formule (19) donne d'abord :

$$\rho = \frac{\overline{0,479}^2 + \overline{0,049}^2 - \overline{0,031}^2}{2 \times 0,018} = 6^{m},413.$$

La formule (20) donne ensuite :

$$\sin^2 \frac{\omega}{2} = \frac{0,018}{2 \times 6,382}$$

d'où : $$\omega = 4^{\circ}\, 18'\, 15''.$$

Enfin, la formule (21) donne :

$$L = 6,413 \times 0,075.12 = 0^{m},481.8$$

d'où : $$2\,L = 0^{m},963.6$$

valeur qui conviendrait à la distance des rouleaux $2\,C = 0^{m},958$. Mais comme il convient d'arrondir la longueur de la première feuille à 10 millimètres, nous adopterons :

$$2\,L = 0^{m},960$$

d'où : $$L = 0^{m},480$$

par suite, la distance des rouleaux se trouve légèrement modifiée, et diminuée de $0^{m},004$ environ, ce qui donne :

$$2\,C = 0^{m},954.$$

Ce changement a pour effet de changer un peu l'inclinaison des menottes, la distance D restant constante et égale à $1^{m},100$.

On a alors :

$$q = \frac{1,100 - 0,954}{2} = 0,073$$

par suite :

$$\cos \beta = \frac{0,073}{0,100} = 0,730$$

d'où : $$\beta = 43^{\circ}\, 07'.$$

Etagement.

L'étagement sera (formule 10) :

$$l = \frac{0{,}480 - 0{,}037.5}{12 - 1} = 0^m{,}040.2$$

soit : $l = 0^m{,}040.$

Ce qui donne :

$$L_1 = 0{,}480 - 11 \times 0{,}040 = 0^m{,}040$$

d'où : $2\ L_1 = 0^m{,}080.$

Vérification de la flexibilité.

La formule (1) permet, au moyen des éléments déjà déterminés, de vérifier la flexibilité :

$$f = \frac{500 \times \overline{0{,}480}^3}{3 \times 109{,}35}\left[\frac{2 \times \overline{0.480}^3 + \overline{0\ 440}^3}{2 \times 12 \times \overline{0{,}480}^3 + \overline{0{,}440}^3}\right] = 0^m{,}018.8$$

soit : $0^m{,}019$, au lieu de la valeur demandée : $0^m{,}018$.

Vérification de l'allongement.

La valeur de α calculée par la formule (2) est :

$$\alpha = \frac{0{,}009 \times 1800 \times 0{,}480}{2 \times 109{,}35 \times 12}\ 0{,}002.96$$

Si l'on veut tenir compte de l'influence de l'inclinaison des menottes, on calculera d'abord l'inclinaison moyenne de la première feuille par la formule (34) :

$$tg\ \gamma = \frac{0{,}049}{0{,}480} = 0{,}1021$$

puis on aura, en prenant $\beta = 43°\ 07'$, par la formule (35) :

$$S = 1800\left(1 + \frac{0{,}1021}{0{,}936}\right) = 1996^k.$$

Si à Q on substitue la valeur trouvée pour S, la formule (27) donne :

$$\alpha' = \frac{0{,}009 \times 1996 \times 0{,}480}{2 \times 109{,}35 \times 12} = 0{,}003.28$$

Enfin, la première feuille supporte une tension longitudinale donnée par la formule (36) :

$$T = \frac{1800}{0,936 \times 0,995} = 1933^{k}.$$

Cette tension produit un allongement supplémentaire représenté par la formule (38):

$$\alpha'' = \frac{1933}{20 \times 10^{9} \times 0,090 \times 0,009} = 0,000.12$$

Ce qui donne pour l'allongement total (formule 39) :

$$\alpha = 0,003.28 + 0,000.12 = 0^{m},003.40$$

soit une augmentation de 0,000.44 ou près de $\frac{1}{2}$ millième provenant du fait de l'inclinaison des menottes.

Flèche de fabrication.

La formule (15) permet de calculer la perte de flèche du ressort sous la tension totale 2 S :

$$f_2 = \frac{2 \times 1996 \times 0,019}{1000} = 0^{m},076.$$

On a ensuite la flèche de fabrication (formule 13) :

$$F = 0,257 - (0,108 + 0,045 + 0,059) + 0,076 = 0^{m},121.$$

Poids du ressort.

Le poids approché évalué au moyen des données par la formule (12) est :

$$P = \frac{6,7}{10^{9}} \times \frac{\overline{1800}^{2} \times 0.018}{\overline{0,003}^{2}} = 43^{k}.$$

Le poids exact (formule 11) est :

$$P = 0,090 \times 0,009 \times 7800 \times$$
$$[2 \times 12 \times 0,480 - 11 \times 10.5 \times 0,040] = 43^{k},5.$$

En ajoutant le poids des rouleaux, soit $2^{k},5$ on a pour le poids total 46^{k}.

2° RESSORTS AVEC SELLETTES.

§ 21. — Ier CAS (*).

D et j ne sont pas imposées.

Données générales du problème.

$2\ Q_o = 700^k$
$2\ Q = 3{,}200^k$
$f = 0^m{,}020$
$E = 20 \times 10^9$
$n' = 1$
$2\ L_1 = 0^m{,}100$ au minimum
$\alpha = 0{,}002.5.$

Données qui influent sur l'établissement de la suspension.

$h = 0^m{,}275$
$b = 0{,}030$
$s = 0{,}045.$

Section des feuilles.

On peut, dans le cas actuel, se donner cette section que nous prendrons égale à 75/10; on a donc :

$$a = 0^m{,}075 \qquad e = 0^m{,}010$$

Longueur du ressort.

La formule (6) donne pour longueur de la première feuille :

$$2\,L = 0{,}096\sqrt{\frac{1600 \times 0{,}010 \times 0{,}020}{0{,}002.5}} = 1^m{,}087$$

nous adopterons $2\,L = 1^m{,}100$ d'où : $L = 0^m{,}550$.

(*) La marche à suivre pour l'établissement de ces ressorts étant identiquement la même que pour ceux avec menottes, nous ne présenterons qu'un seul exemple, qui suffira pour guider dans l'application des formules aux différents cas.

Nombre des feuilles.

Le nombre des feuilles est donné par la formule (7), en prenant la valeur M = 125, qui convient à la section des feuilles employées.

$$n = \frac{0{,}010 \times 1600 \times 0{,}550}{2 \times 125 \times 0{,}002.5} = 14{,}1$$

soit 14 feuilles.

Vérification relative au jeu j.

La perte de flèche du ressort sous l'action du chargement est (formule 14) :

$$f_1 = \frac{2.500 \times 0{,}020}{1000} = 0{,}050.$$

L'épaisseur du ressort étant d'ailleurs :

$$H = 14 \times 0{,}010 = 0^m{,}140$$

on a (formule 26) :

$$j = 0{,}275 - (0{,}140 + 0{,}045 + 0{,}050) = 0^m{,}040.$$

Ce jeu est regardé comme insuffisant.

Modifications apportées par l'insuffisance du jeu j.

Pour augmenter le jeu, il faut chercher à diminuer l'épaisseur du ressort, et suivant ce qui a été dit au chapitre IV § 13, on prendra des feuilles plus épaisses, soit $e = 0^m{,}012$, ce qui donnera une nouvelle valeur de la longueur du ressort.

Longueur du ressort.

La formule (6) donne :

$$2\,L = 0{,}096\sqrt{\frac{1600 \times 0{,}012 \times 0{,}020}{0{,}002.5}} = 1^m,\,190$$

nous adopterons $2\,L = 1^m{,}200$, d'où : $L = 0^m{,}600$.

Nombre des feuilles.

La formule (7) donne, en prenant M = 216, valeur qui convient à la nouvelle section des feuilles :

$$n = \frac{0,012 \times 1600 \times 0,600}{2 \times 216 \times 0,002.5} = 10,7$$

soit 11 feuilles.

Vérification relative au jeu j.

La hauteur du ressort devient :

$$H = 11 \times 0,012 = 0^{m},132$$

par suite le jeu est :

$$j = 0,275 - (0,132 + 0,045 + 0,050) = 0^{m},048.$$

Ce jeu étant considéré comme suffisant, nous adopterons les éléments déterminés par ces derniers calculs.

Etagement.

Il est donné par la formule (10).

$$l = \frac{0,600 - 0,050}{11 - 1} = 0,055.$$

Vérification de la flexibilité.

La formule (1) donne pour la valeur exacte de la flexibilité :

$$f = \frac{500 \times \overline{0,600}^3}{3 \times 216} \left[\frac{2 \times \overline{0,600}^3 + \overline{0,550}^3}{2 \times 11 \times \overline{0,600}^3 + \overline{0,550}^3}\right] = 0^{m},020.3$$

au lieu de la valeur demandée 0,020.

Vérification de l'allongement.

La valeur de α, calculée au moyen de la formule (2) est :

$$\alpha = \frac{0,012 \times 1600 \times 0,600}{2 \times 216 \times 11} = 0,002.42$$

au lieu de la valeur imposée comme maximum 0,002.5.

Flèche de fabrication.

Le ressort perd, sous l'action de la charge totale 2 Q, une flèche donnée par la formule (15) :

$$f_2 = \frac{3200 \times 0,020}{1000} = 0^m,064.$$

La flèche de fabrication est donc (formule 27) :

$$F = 0,275 - (0,132 + 0,050 + 0,030) + 0,064 = 0^m,127.$$

Distance d'axe en axe des bouts refoulés.

On calculera d'abord la quantité r par la formule (29)

$$r = 0,006 + 0,005 = 0^m,011$$

puis la flèche géométrique par la formule (28) :

$$F_1 = 0,275 - (0,132 + 0,050 + 0,030 - 0,006) = 0^m,069$$

d'où $$F_1 - r = 0,069 - 0,011 = 0^m,058.$$

La formule empirique (32) donnera alors :

$$C^2 = \overline{0,600}^2 - \frac{1}{3} \cdot \overline{0,058}^2 = 0,35551$$

d'où : $$C = 0,596.2$$

On peut vérifier cette valeur de C en calculant d'abord ρ par la formule (30) :

$$\rho = \frac{0,35551 \times 0,00336}{0,116} = 3^m,093.7$$

puis ω par la formule (31) qui conduit à :

$$\omega = 11^\circ\ 06'\ 44''.$$

Et enfin, L par la formule (21) :

$$L = 3,093.7 \times \text{arc}\ \omega = 0^m,600.00$$

c'est-à-dire exactement la valeur donnée.

On peut donc prendre :

$$C = 0^m,596$$

d'où $$2\ C = 1^m,192.$$

Distance d'axe en axe des sellettes.

Cette distance est précisément égale (formule 33) à celle des bouts refoulés sous véhicule chargé ; on a donc :

$$D = 1^{m},192.$$

Poids du ressort.

L'évaluation approximative au moyen des données conduit à la valeur suivante (formule 12) :

$$P = \frac{6,7}{10^9} \times \frac{\overline{1600}^2 \times 0,020}{\overline{0,002.5}^2} = 55^k.$$

Le calcul exact par la formule (11) donne :

$$P = 0,075 \times 0,012 \times 7800 \times$$
$$[2 \times 11 \times 0,600 - 10 \times 9,5 \times 0,055] = 56^k.$$

TROISIÈME PARTIE

Application des formules aux ressorts de choc et de traction.

CHAPITRE VI

RESSORTS DE CHOC.

§ 22. — *Données générales du problème.*

L'établissement des ressorts de choc s'appuie sur les considérations suivantes que nous présenterons ici sommairement, leur justification n'entrant pas dans le cadre de notre sujet.

1° *Considération du travail absorbé.* — Il faut connaître d'abord la quantité de travail T que le ressort doit pouvoir absorber; cette quantité de travail est donnée en minimum par la considération des chocs auxquels le matériel peut être soumis dans les circonstances normales du service, et qui doivent être en entier amortis par le ressort.

2° *Considération de la douceur dans l'amortissement du choc.* — Si l'on représente par $2Q$ la somme des pressions maxima exercées dans un choc sur le ressort par les deux tiges de tampons, par $2Q_0$ la tension initiale du ressort, et par f_1 la perte de flèche du ressort passant de la tension $2Q_0$ à la tension $2Q$, on a, en considérant l'expression de la quantité de travail T :

$$T = f_1 (Q + Q_0) \qquad (40)$$

Mais, d'ailleurs, on a vu (formule 14) que :

$$f_1 = \frac{2(Q + Q_0)}{1000} f$$

d'où, en substituant cette valeur dans la formule (40) :

$$T = \frac{2(Q^2 - Q_0^2)}{1000} f = \frac{(Q^2 - Q_0^2)f}{500} \qquad (41)$$

La flexibilité f peut être supposée donnée; elle résulte de la douceur que l'on veut obtenir dans l'amortissement des chocs. La tension initiale $2Q_0$ est établie en ayant égard aux réactions que les véhicules peuvent éprouver entre eux, pendant la marche ou au moment des arrêts. On peut donc, de la formule (41), tirer en fonction de T, de f et de Q_0 une valeur de Q qui sera ainsi une limite inférieure de cette quantité :

$$Q^2 = Q_0^2 + \frac{500\ T}{f}$$

ou :

$$Q = \sqrt{Q_0^2 + \frac{500\ T}{f}} \qquad (42)$$

3° *Considération de l'effort maximum à exercer sur les tampons.* — D'un autre côté, la tension maxima à laquelle le ressort peut être soumis doit être au moins égale à l'effort de traction moyen de la locomotive, qui est alors supposée agir par refoulement. La comparaison de cette dernière valeur avec celle déduite de la formule (42) indiquera la valeur à adopter pour la tension maxima 2 Q.

Données complémentaires.

Nous supposerons encore que l'on donne, comme pour les ressorts de suspension, la valeur du coefficient d'élasticité E de la matière employée, ainsi que le maximum que peut atteindre l'allongement α dans les parties du métal les plus fatiguées.

Enfin la longueur du ressort résulte des conditions de construction du véhicule; car cette longueur entre les points de contact du ressort avec les mains de choc, sous l'aplatissement complet, est égale à l'écartement des tiges de tampons qui est toujours donné. On rentre donc à peu près dans le troisième cas du calcul des ressorts avec sellettes.

§ 23. — *Marche à suivre dans l'étude d'un ressort de choc.*

D'après ce qui vient d'être dit, nous aurons d'abord à calculer l'épaisseur des feuilles par la formule (5) :

$$e = \frac{K L^2 \alpha}{6 Q f}$$

Dans laquelle on pourra faire $K = 2700$. En effet, si nous remarquons que dans les ressorts dont il s'agit la longueur varie seulement de $1^m,720$ à $1^m,800$, le nombre des feuilles de 10 à 18, et que l'on peut prendre, comme dans les ressorts de suspension $n' = 1$ et $2 L_1 = 0^m,100$, on trouve que la valeur moyenne de K dans ces conditions est : $K = 2700$. On aura donc :

$$e = \frac{2700 L^2 \alpha}{6 Q f} = \frac{450 L^2 \alpha}{Q f} \qquad (43)$$

On adoptera ensuite pour la largeur des feuilles une valeur en rapport avec celle des ressorts placés dans les mêmes conditions, puis la formule (7) donnera le nombre des feuilles :

$$n = \frac{e Q L}{2 M \alpha}$$

L'étagement se calculera, après que l'on se sera donné la valeur de L_1, par la formule (10) :

$$l = \frac{L - L_1}{n - n'}$$

On pourra alors vérifier la flexibilité au moyen de la formule (1) :

$$f = \frac{500 L^3}{3 M} \left[\frac{2 L^3 + (L - L_1)^3}{2 n L^3 + n' (L - L_1)^3} \right]$$

Le coefficient d'allongement auquel le métal travaillera sous la tension 2 Q sera (formule 2) :

$$\alpha = \frac{e Q L}{2 M n}$$

La course maxima des tampons sera égale à la perte de flèche du ressort passant de la tension $2 Q_0$ à la tension $2 Q$, et sera donnée, comme nous l'avons vu, par la formule (14) :

$$f_1 = \frac{2 (Q - Q_0)}{1000} f$$

La flèche de fabrication devra être suffisante pour que le ressort se trouve aplati seulement sous la tension maxima 2 Q. Or, la perte de flèche totale du ressort sous cette tension est donnée par la formule (15) :

$$f_2 = \frac{2Qf}{1000}$$

La flèche de fabrication, telle que nous l'avons définie (§ 9, 2°), s'obtiendra en ajoutant à f_2 la quantité $\left(r - \frac{e}{2}\right)$; or, la formule (29) donne :

$$r = \frac{e}{2} + 0^m,005$$

d'où :

$$r - \frac{e}{2} = 0^m,005.$$

On aura donc :

$$F = f_2 + 0^m,005. \qquad (44)$$

Le poids du ressort se calculera exactement par la formule (11) :

$$P = ae\delta \left[2Ln - (n - n')\left(n - n' - \frac{1}{2}\right) l\right]$$

On peut se rendre compte du poids approximatif au moyen des données en employant la formule (12) ; si l'on substitue à K et K' les valeurs moyennes convenant aux ressorts de choc généralement employés, on trouve :

$$P = 0,000.000.006 \frac{Q^2 f}{\alpha^2}$$

Si l'on substitue dans cette dernière formule à Q^2 sa valeur donnée par la formule (42), l'expression résultante montrera que le poids du ressort est d'autant plus considérable, à égalité de travail absorbé, que la tension initiale $2Q_0$ est plus grande. Si cette tension initiale était nulle, le poids serait exactement proportionnel à la quantité de travail T, et en raison inverse de la quantité α^2, résultat déjà connu d'ailleurs, et établi par d'autres considérations (*).

(*) Voir le mémoire précité de M. Phillips.

§ 24. — *Exemple de calcul d'un ressort de choc.*

Les données du problème sont :

$T = 600^{km}$ au minimum.
$2Q_0 = 2400^k$
$f = 0^m,070$
$2L = 1^m,800$
$2L_1 = 0,080$ au minimum.
$n' = 1$
$E = 20 \times 10^9$
$\alpha = 0,004.5$ au maximum.

On tirera d'abord une première valeur de Q de la formule (42) :

$$Q = \sqrt{1200^2 + \frac{500 \times 600}{0,070}} = 2393^k$$

soit $Q = 2400^k$, d'où : $2Q = 4800^k$.

Avant d'adopter cette valeur pour le calcul du ressort, il faut vérifier si elle est supérieure à l'effort moyen de refoulement de la locomotive; or, si l'on suppose une machine de 30 à 36 tonnes, soit en moyenne 33 tonnes, travaillant au 1/7 de l'adhérence, on aura :

$$\frac{33.000}{7} = 4714^k.$$

Cette dernière valeur étant inférieure à celle déterminée plus haut, nous pouvons admettre :

$$2Q = 4800^k.$$

Nous pouvons maintenant calculer l'épaisseur des feuilles par la formule (43) :

$$e = \frac{450 \times \overline{0,900}^2 \times 0,004.5}{2400 \times 0,070} = 0^m,009.8$$

soit $0^m,010$.

La formule (7) donne ensuite pour le nombre des feuilles, en prenant la largeur $a = 0^m,075$, et par suite $M = 125$:

$$n = \frac{0,010 \times 2400 \times 0,900}{2 \times 125 \times 0,004.5} = 19,2$$

soit 19 feuilles.

L'étagement se calculera par la formule (10) :

$$l = \frac{0,900 - 0,040}{19 - 1} = 0^m,047.8$$

on prendra $l = 0,047.5$ ce qui modifiera légèrement la longueur $2\,L_1$:

$$L_1 = 0,900 - 18 \times 0,047.5 = 0^m,045$$

d'où :

$$2\,L_1 = 0^m,090$$

au lieu de :

$$0^m,080.$$

La flexibilité peut se calculer exactement au moyen de la formule (1) :

$$f = \frac{500 \times \overline{0,900}^3}{3 \times 125}\left[\frac{2 \times \overline{0,900}^3 + \overline{0,855}^3}{2 \times 19 \times \overline{0,900}^3 + \overline{0,855}^3}\right] = 0^m,071.5$$

au lieu de la valeur demandée $0^m,070$.

L'allongement a pour valeur (formule 2) :

$$\alpha = \frac{0,010 \times 2400 \times 0,900}{2 \times 125 \times 19} = 0^m,004.55$$

au lieu de la valeur imposée 0,004,5

La course maxima des tampons est donnée par la formule (14) :

$$f_1 = \frac{2400 \times 0,071}{1000} = 0^m,170.$$

Pour déterminer la flèche de fabrication, on calculera d'abord la perte de flèche f_2 sous la tension totale $2\,Q$ par la formule (15) :

$$f_2 = \frac{4800 \times 0,071}{1000} = 0^m,341$$

et la formule (44) donnera ensuite pour la flèche de fabrication :

$$F = 0,341 + 0,005 = 0^m,346.$$

Le poids du ressort, évalué approximativement au moyen des données est (formule 12) :

$$P = \frac{6}{10^9} \times \frac{\overline{2400}^2 \times 0,070}{\overline{0,004.5}^2} = 119^k.$$

Le poids exact, calculé par la formule (11) est :

$$P = 0{,}075 \times 0{,}010 \times 7800\,(2 \times 0{,}900 \times 19 - 18 \times 17.5 \times$$
$$\times\, 0{,}047.5) = 113^{k}\ (*).$$

CHAPITRE VII

RESSORTS DE TRACTION.

§ 25. — *Données du problème.*

Les ressorts de traction peuvent être assimilés pour le calcul à des ressorts de suspension avec sellettes. La marche à suivre est à très peu près la même que celle exposée au § 13 pour l'étude du premier cas.

Les données du problème sont :

L'effort maximum $2Q$ qui doit être exercé par la locomotive sur le crochet de traction;

La tension initiale $2Q_0$ du ressort de traction;

La flexibilité f;

L'allongement maximum α auquel doit travailler la matière du ressort, et le coefficient d'élasticité E de cette matière.

On se donnera généralement aussi les dimensions transversales des feuilles qui doivent composer le ressort. L'épaisseur pourra cependant être modifiée dans le cas où cette modification serait reconnue nécessaire pour satisfaire aux diverses conditions imposées.

§ 26. — *Marche à suivre dans l'étude d'un ressort de traction.*

On calculera d'abord la longueur du ressort. Le coefficient K pourra être pris égal à 2600; en effet, dans les ressorts de traction, la lon-

(*) L'écart entre ces deux chiffres provient de ce que la formule approximative est établie pour des ressorts ayant un moins grand nombre de feuilles que celui dont il s'agit.

gueur 2L varie généralement de $0^m,800$ à $1^m,000$, le nombre n des feuilles de 5 à 10; et si l'on prend $n' = 1$ et $2L_1 = 0^m,100$, on est conduit, comme pour les ressorts de suspension, à la valeur moyenne :

$$K = 2600.$$

La formule à employer pour le calcul de la longueur est donc exactement la formule (6) :

$$L = 0,048 \sqrt{\frac{Qef}{\alpha}}$$

ou :

$$2L = 0,096 \sqrt{\frac{Qef}{\alpha}}$$

Ensuite, la formule (7) donnera le nombre des feuilles :

$$n = \frac{eQL}{2M\alpha}$$

Si ce nombre n'est pas entier, on prendra le nombre entier le plus voisin en faisant au besoin une modification sur la longueur L dans le sens convenable, suivant ce que permettra la construction du véhicule. On pourra encore modifier la valeur de Q qui est seulement imposée en minimum; on ne devra donc agir sur cette quantité que s'il y a lieu de l'augmenter.

L'étagement se calculera comme dans les ressorts de suspension.

Le ressort étant ainsi déterminé, on pourra vérifier la valeur de α, ou chercher à quelle tension 2Q correspond l'allongement donné (formule 2) :

$$\alpha = \frac{eQL}{2Mn}$$

La course f_1 du crochet de traction est donnée par la formule (14) :

$$f_1 = \frac{2\,(Q - Q_0)}{1000}\,f$$

Bien qu'on cherche à faire travailler les ressorts sous l'aplatissement complet, les nécessités de construction imposent généralement une certaine flèche sous la tension maxima. La flèche de fabrication devra donc être telle que le ressort conserve encore sous cette tension 2Q

une flèche u. D'après cette condition, la flèche de fabrication F s'obtiendra en ajoutant à la perte de flèche f_2 la quantité :

$$r - \frac{e}{2} + u$$

On a donc :

$$F = f_2 + r - \frac{e}{2} + u$$

Or, on a vu que dans les ressorts avec sellettes :

$$r - \frac{e}{2} = 0^m,005.$$

Donc :

$$F = f_2 + u + 0^m,005. \qquad (45)$$

Le poids exact du ressort se calculera au moyen de la formule (11) :

$$P = ae\delta \left[2Ln - (n - n')\left(n - n' - \frac{1}{2}\right) l\right]$$

Quant au poids approximatif évalué au moyen des données, on pourra le calculer par la formule (12) dans laquelle on donnera au coefficient numérique la valeur : 0,000.000.007 qui convient aux dimensions moyennes généralement adoptées pour les ressorts de traction. On aura donc :

$$P = 0,000.000.007 \frac{Q^2 f}{\alpha^2}$$

§ 27. — *Exemple de calcul d'un ressort de traction.*

Les données du problème sont :

$2Q_0 = 2000^k$
$2Q = 5000^k$
$f = 0^m,015$
$u = 0^m,050$
$2L_1 = 0^m,100$
$\alpha = 0,004$
$n' = 1$

On adoptera des feuilles de 75/10 et on calculera la longueur du ressort par la formule (6) :

$$2\,L = 0{,}096\sqrt{\frac{2500 \times 0{,}010 \times 0{,}015}{0{,}004}} = 0^{m}{,}929$$

soit $0^{m},930$.

Le nombre des feuilles se calculera par la formule (7); on prendra $M = 125$, qui convient aux feuilles de 75/10 :

$$n = \frac{0{,}010 \times 2500 \times 0{,}465}{2 \times 125 \times 0{,}004} = 11{,}6$$

On prendra 12 feuilles, en portant la longueur de la première feuille à $0^{m},950$.

L'étagement se calculera par la formule (10) :

$$l = \frac{0{,}475 - 0{,}050}{12 - 1} = 0^{m}{,}038.6$$

on prendra : $l = 0^{m},037.5$

ce qui modifiera légèrement la valeur de $2\,L_1$:

$$L_1 = 0{,}475 - 11 \times 0.037.5 = 0^{m}{,}062.5$$

d'où : $2\,L_1 = 0^{m},125$.

Sous la tension $2\,Q = 5000^{k}$ l'allongement sera (formule 2) :

$$a = \frac{0{,}010 \times 2500 \times 0{,}475}{2 \times 125 \times 12} = 0{,}003.96$$

au lieu de la valeur imposée 0,004.

Si l'on voulait vérifier la flexibilité, ce qui n'est pas utile en général, on le ferait au moyen de la formule (1) qui donne, dans le cas présent :

$$f = \frac{500 \times \overline{0{,}475}^{3}}{3 \times 125}\left[\frac{2 \times \overline{0{,}475}^{3} + \overline{0{,}412.5}^{3}}{2 \times 12 \times \overline{0{,}475}^{3} + \overline{0{,}412.5}^{3}}\right] = 0^{m}{,}015.4$$

au lieu de la valeur demandée : $0^{m},015$.

La course du crochet de traction est donnée par la formule (14) :

$$f_1 = \frac{3000 \times 0{,}015}{1000} = 0^{m}{,}045.$$

La flèche de fabrication se calculera en déterminant d'abord la perte de flèche sous la tension totale 2 Q; par la formule (15) :

$$f_2 = \frac{5000 \times 0{,}015}{1000} = 0^m{,}075.$$

Par suite (formule 45) :

$$F = 0^m{,}075 + 0{,}050 + 0{,}005 = 0^m{,}130.$$

Le poids du ressort, évalué approximativement au moyen des données par la formule (12), est :

$$P = \frac{7}{10^9} \times \frac{\overline{2500^2} \times 0{,}015}{\overline{0{,}0004^2}} = 41^k.$$

Le poids exact, calculé par la formule (11), est :

$$P = 0{,}075 \times 0{,}010 \times 7800 \times$$
$$[0{,}950 \times 12 - 11 \times 10,5 \times 0{,}037.5] = 45 \text{ k.}$$

TABLEAU I. — Valeurs de $M = \frac{E a e^3}{12}$ en supposant $E = 20.000.000.000$.

	$e = 1^m/_m$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$A = 5^m/_m$	0,0083	0,0667	0,225	0,5333	1,042	1,800	2,858	4,267	6,075	8,333	11,092	14,400	18,308	22,867	28,125
10	0,0167	0,1333	0,450	1,067	2,083	3,600	5,717	8,533	12,150	16,667	22,183	28,800	36,617	45,733	56,250
15	0,025	0,200	0,675	1,600	3,125	5,400	8,575	12,800	18,225	25,000	33,275	43,200	54,925	68,600	84,375
20	0,0333	0,2767	0,900	2,133	4,167	7,200	11,433	17,067	24,300	33,333	44,367	57,600	73,233	91,467	112,500
25	0,0417	0,3333	1,125	2,667	5,208	9,000	14,292	21,333	30,375	41,667	55,458	72,000	91,542	114,333	140,625
30	0,050	0,400	1,350	3,200	6,250	10,800	17,150	25,600	36,450	50,000	66,550	86,400	109,850	137,200	168,750
35	0,0583	0,4667	1,575	3,733	7,292	12,600	20,008	29,867	42,525	58,333	77,642	100,800	128,158	160,067	196,875
40	0,0667	0,5333	1,800	4,267	8,333	14,400	22,867	34,133	48,600	66,667	88,733	115,200	146,467	182,933	225,000
45	0,075	0,600	2,025	4,800	9,375	16,200	25,725	38,400	54,675	75,000	99,825	129,600	164,775	205,800	253,125
50	0,0833	0,6667	2,250	5,333	10,417	18,000	28,583	42,667	60,750	83,333	110,917	144,000	183,083	228,667	281,250
55	0,0917	0,7333	2,475	5,867	11,458	19,800	31,442	46,933	66,825	91,667	122,008	158,400	201,392	251,533	309,375
60	0,100	0,800	2,700	6,400	12,500	21,600	34,300	51,200	72,900	100,000	133,100	172,800	219,700	274,400	337,500
65	0,1083	0,8667	2,925	6,933	13,542	23,400	37,158	55,467	78,975	108,333	144,192	187,200	238,008	297,267	365,625
70	0,1167	0,9333	3,150	7,467	14,583	25,200	40,017	59,733	85,050	116,667	155,283	201,600	256,317	320,133	393,750
75	0,125	1,000	3,375	8,000	15,625	27,000	42,875	64,000	91,125	125,000	166,375	216,000	274,625	343,000	421,875
80	0,1333	1,067	3,600	8,533	16,667	28,800	45,733	68,267	97,200	133,333	177,467	230,400	292,933	365,867	450,000
85	0,1417	1,133	3,825	9,067	17,708	30,600	48,592	72,533	103,275	141,667	188,558	244,800	311,242	388,733	478,125
90	0,150	1,200	4,050	9,600	18,750	32,400	51,450	76,800	109,350	150,000	199,650	259,200	329,550	411,600	506,250
95	0,1583	1,267	4,275	10,133	19,792	34,200	54,308	81,067	115,425	158,333	210,742	273,600	347,858	434,467	534,375
100	0,1667	1,333	4,500	10,667	20,833	36,000	57,167	85,333	121,500	166,667	221,833	288,000	366,167	457,133	562,500

APPENDICE

NOTE 1.

Forme donnée aux extrémités des feuilles.

1° Feuilles amincies.

M. Phillips a indiqué pour les extrémités des feuilles d'un ressort une forme d'amincissement, représentée figure 2, qui a pour effet d'égaliser autant que possible les tensions dans les feuilles vers leurs extrémités, et de faire que les rayons de courbure deviennent infinis tous à la fois au moment de l'aplatissement, ce qui n'arriverait pas si on laissait aux feuilles une épaisseur constante.

La loi de décroissance est indiquée par la formule suivante, dans laquelle y est l'épaisseur variable de la partie amincie, x la distance de la section considérée à l'origine de l'étagement, e l'épaisseur constante de la feuille, et l la longueur de l'étagement.

$$y = e\sqrt[3]{1 - \frac{x}{l}}.$$

La petite table suivante, qui donne les valeurs de $\frac{y}{e}$ en fonction de celles de $\frac{x}{l}$, permettra de construire facilement le profil de cette forme d'amincissement :

$\frac{x}{l}$	$\frac{y}{e}$
0,1	0,965
0,2	0,928
0,3	0,888
0,4	0,843
0,5	0,794
0,6	0,737
0,7	0,669
0,8	0,585
0,9	0,464
0,95	0,368
1	0

2° *Première feuille des ressorts avec menottes.*

La forme admise pour les rouleaux de la première feuille des ressorts avec menottes est celle indiquée figure 3. L'épaisseur de la lame étant e, le diamètre de l'œil du rouleau d, et la distance du centre de l'œil à l'axe de la première feuille r, on a :

$$r = \frac{d}{2} + \frac{3}{2}e = \frac{d + 3e}{2}.$$

3° *Première feuille des ressorts avec sellettes.*

La forme adoptée pour les renflements de la première feuille des ressorts avec sellettes est celle indiquée figure 4. Le renflement est formé par une portion d'un cylindre circulaire qui a son axe sur l'axe de la première feuille ; cette disposition a pour avantage de faire passer la réaction par un point fixe situé sur l'axe de la première feuille, et par suite de ne pas changer la longueur virtuelle de celle-ci. La surépaisseur du renflement étant prise égale à $0^m,005$, la quantité r, distance entre le point de contact et l'axe de la première feuille, sera égale à :

$$r = \frac{e}{2} + 0^m,005.$$

NOTE II

Calcul de la flexion d'un ressort incomplet comprenant plusieurs feuilles de même longueur.

Nous nous servirons des mêmes notations que celles employées dans les formules générales. (Première partie, chapitre I § 1).

Nous considérerons le ressort comme formé de deux ressorts superposés, A et B (*), travaillant ensemble comme s'ils étaient juxtaposés, hypothèse qu'il est permis de faire ici en négligeant le frottement au contact des feuilles ; ces deux solides supportent à leur extrémité la même charge Q, et sont assujettis à prendre la même flèche y. Leurs feuilles ont d'ailleurs même épaisseur et même largeur et sont formées du même métal, de sorte que la valeur de M est la même pour les deux ressorts.

Déterminons pour chaque ressort la flèche qu'il prendrait sous l'action de la charge.

Le ressort A est composé de n' feuilles prismatiques ayant toutes la même longueur L ; il supporte une fraction Q_1 de la charge Q, et sa flèche y_1 a pour valeur, d'après les formules de M. Phillips :

$$y_1 = \frac{Q_1 L^3}{3 n' M}. \qquad (a)$$

Le solide B est un ressort incomplet de $(n - n')$ feuilles, supportant une fraction Q_2 de la charge totale, et dont la flèche est donnée par la formule suivante, également indiquée par M. Phillips, et qui tient compte des amincissements des feuilles :

$$y_2 = \frac{Q_2 [2 L^3 + (n - n')^3 l^3]}{6 (n - n') M}. \qquad (b)$$

(*) Voir figure 1.

Des équations (a) et (b) on tire :

$$Q_1 = \frac{3\,n'\,M\,y_1}{L^3}$$

$$Q_2 = \frac{6\,(n - n')\,M\,y_2}{2\,L^3 + (n - n')^3\,l^3}$$

Mais les flèches étant les mêmes,

$$y_1 = y_2 = y$$

de plus :

$$Q_1 + Q_2 = Q$$

donc :

$$Q = 3\,M\,y\left[\frac{n'}{L^3} + \frac{2\,(n - n')}{2\,L^3 + (n - n')^3\,l^3}\right]$$

$$= \frac{3\,M\,y}{L^3}\left[\frac{2\,n\,L^3 + n'\,(n - n')^3\,l^3}{2\,L^3 + (n - n')^3\,l^3}\right]$$

d'où :

$$y = \frac{Q\,L^3}{3\,M}\left[\frac{2\,L^3 + (n - n')^3\,l^3}{2\,n\,L^3 + n'\,(n - n')^3\,l^3}\right]$$

Mais si l'on remplace l par sa valeur :

$$l = \frac{L - L_1}{n - n'}$$

il vient :

$$y = \frac{Q\,L^3}{3\,M}\left[\frac{2\,L^3 + (L - L_1)^3}{2\,n\,L^3 + n'\,(L - L_1)^3}\right]$$

Telle est la formule générale qui nous servira à calculer exactement la flexion d'un ressort incomplet comprenant plusieurs feuilles de longueur 2 L.

Remarques I. — Si le nombre de feuilles de longueur 2 L se réduit à une seule et que cette feuille soit amincie aux extrémités, on a $n' = o$, d'où :

$$= \frac{Q\,L^3}{3M}\left[\frac{2\,L^3 + (L - L_1)^3}{2\,n\,L^3}\right]$$

$$= \frac{Q}{6\,M\,n}\left[2\,L^3 + (L - L_1)^3\right].$$

Or ici, $L - L_1 = n\,l$; donc :

$$y = \frac{Q}{6\,M\,n}\left[2\,L^3 + (n\,l)^3\right].$$

II. — Si le ressort est composé de n feuilles prismatiques de même longueur 2 L, n', qui est le nombre des feuilles non amincies de longueur 2 L, devient égal à n, et on a :

$$y = \frac{Q\,L^3}{3\ M}\left[\frac{2\,L^3 + (L - L_1)^3}{2\,n\,L^3 + n\,(L - L_1)^3}\right] = \frac{Q\,L^3}{3\ M\,n}.$$

III. — On obtient le même résultat en faisant $L_1 = L$ dans la formule générale.

IV. — Si le ressort est complet, on a $L_1 = o$, et, en tenant compte des feuilles non amincies de longueur 2 L :

$$y = \frac{Q\,L^3}{3\ M}\left[\frac{2\,L^3 + L^3}{2\,n\,L^3 + n'\,L^3}\right] = \frac{Q\ L^3}{3\ M}\left(\frac{3}{2\,n + n'}\right)$$

$$= \frac{Q\,L^3}{M\,(2\,n + n')} = \frac{Q\,L^3}{2\,M\,n\left(1 + \frac{n'}{2\,n}\right)}$$

V. — Enfin, si dans ce ressort complet on suppose que les feuilles non amincies de longueur 2 L n'existent pas, $n' = o$, et on a :

$$y = \frac{Q\,L^3}{2\ M\,n}.$$

On reconnaît, dans les formules simplifiées des remarques I, II, III et V, celles indiquées par M. Phillips dans son ouvrage.

NOTE III

Calcul du poids d'un ressort.

Le ressort étant symétrique par rapport au plan transversal médian, nous calculerons le poids pour une moitié seulement, en faisant d'abord abstraction de celui des rouleaux.

Nous supposerons le ressort composé de trois parties (fig. 1) :

1° La première partie formée des n' feuilles non amincies.

2° Les $(n - n')$ feuilles amincies, non compris les amincissements.

3° L'ensemble des $(n - n')$ amincissements.

Nous évaluerons d'abord le volume du ressort, qu'il suffira ensuite de multiplier par la densité δ de la matière dont il est formé pour en obtenir le poids.

Première partie. — Le volume de cette partie s'évalue très simplement ; il est :

$$V_1 = a\, e\, L\, n'.$$

Deuxième partie. — Le volume de la première feuille amincie, non compris l'amincissement, est. . . . . $a\, e\, (L - l)$

Celui de la deuxième feuille. . . . . $a\, e\, (L - 2\, l)$, etc.

Celui de la dernière feuille. . . . . $a\, e \left[L - (n - n')\, l\right]$

Le volume de cette deuxième partie est donc :

$$V_2 = a\, e \left[(L - l) + (L - 2\, l) + \ldots\ldots + L - (n - n')\, l \right]$$

$$= a\, e\, (n - n') \left[L - \left(\frac{n - n' + 1}{2}\right) l\right].$$

Troisième partie. — Le volume de la troisième partie est composé de $(n - n')$ fois le volume d'un amincissement, qui est lui lui-même

égal à la largeur a multipliée par la surface du profil d'un amincissement. Or, on trouve facilement, comme l'indique M. Phillips dans son ouvrage, que cette surface est exactement égale à 3/4 du rectangle $e\,l$. Le volume des $(n - n')$ amincissements est ainsi :

$$V_3 = \frac{3}{4}\, a\, e\, l\,(n - n').$$

Ajoutant les trois volumes $V_1\ V_2\ V_3$ nous avons :

$$V = a\,e\,L\,n' + a\,e\,(n - n')\left[L - \left(\frac{n - n' + 1}{2}\right) l\right]$$

$$+ \frac{3}{4}\, a\,e\,l\,(n - n') = a\,e\left[L\,n - \frac{1}{2}\, l\,(n - n')\left(n - n' - \frac{1}{2}\right)\right]$$

Doublant ce volume pour avoir celui du ressort entier, et multipliant par la densité δ du métal, on aura définitivement pour expression du poids :

$$P = a\,e\,\delta\left[2\,L\,n - l\,(n - n')\left(n - n' - \frac{1}{2}\right)\right]$$

NOTE IV

Relations géométriques entre les divers éléments de la première feuille d'un ressort.

1° *Ressorts à rouleaux.*

La formule (19) peut s'établir au moyen de la figure 5, qui donne :

$$\begin{aligned} C^2 &= \left[2(\rho - r) - (F_1 - r)\right](F_1 - r) \\ &= (2\rho - F_1 - r)(F - r) \\ &= 2\rho(F_1 - r) - F_1^2 + r^2 \end{aligned}$$

d'où :

$$\rho = \frac{C^2 + F_1^2 - r^2}{2(F_1 - r)}.$$

La formule (20) s'obtiendra au moyen de la même figure, en remarquant que l'on a :

$$\cos\omega = \frac{\rho - F_1}{\rho - r},$$

formule au moyen de laquelle on pourrait calculer l'angle ω ; mais cet angle étant généralement très petit, il se trouve mal déterminé par son cos., et il est préférable d'opérer la transformation suivante :

$$1 - \cos\omega = 1 - \frac{\rho - F_1}{\rho - r} = \frac{F_1 - r}{\rho - r},$$

ou :

$$\sin^2\frac{\omega}{2} = \frac{F_1 - r}{2(\rho - r)}.$$

C'est la formule (20).

2° *Ressorts à bouts refoulés.*

En considérant la figure 6, nous établirons d'après la marche précédente la formule (30) :

$$\begin{aligned} C^2 &= \left[2\rho - (F_1 - r)\right](F^1 - r) \\ &= 2\rho(F_1 - r) - (F_1 - r)^2, \end{aligned}$$

d'où :

$$\rho = \frac{C^2 + (F_1 - r)^2}{2\,(F_1 - r)}.$$

La même figure donne encore :

$$\cos\,\omega = \frac{\rho - (F_1 - r}{\rho}.$$

Une transformation identique à celle que nous avons faite ci-dessus nous conduit à la formule (31).

$$1 - \cos\omega = 1 - \frac{\rho - (F_1 - r)}{\rho} = \frac{F_1 - r}{\rho}$$

ou :

$$\sin^2\frac{\omega}{2} = \frac{F_1 - r}{2\,\rho}.$$

NOTE V.

Valeurs des coefficients α et E.

M. Phillips a observé que, pour les aciers qu'il a soumis à l'expérience, la valeur $\alpha = 0{,}005$ est à peu près l'allongement correspondant à la limite d'élasticité. Pour les ressorts de suspension, on peut, eu égard aux conditions dans lesquelles ils travaillent, adopter une valeur de α comprise entre 0,002.5 et 0,003. Pour les ressorts de traction, on pourra admettre un allongement maximum de 0,003.5. Dans les ressorts de choc, qui ne supportent que momentanément la tension maxima, on peut faire travailler l'acier presque à la limite d'élasticité, soit, comme le conseille M. Phillips, à l'allongement $\alpha = 0{,}004$.

Quant à la valeur du coefficient d'élasticité E, il résulte des expériences faites par M. Phillips sur des feuilles isolées que l'on peut prendre en moyenne E = 20,000.000.000. M. Fierlant, dans une note publiée dans les *Annales de la Société scientifique de Bruxelles* (1re année 1876), donne également cette même valeur de E comme étant le résultat moyen d'un certain nombre d'expériences faites sur des ressorts entiers, et présentant par suite un intérêt spécial.

Nous ferons remarquer, comme conséquence de ces valeurs attribuées à α et à E, que le travail maximum du métal *à la flexion* variera de 50 à 60 kilogrammes par millimètre carré dans les ressorts de suspension, et pourra atteindre 70 et 80 kilogrammes dans ceux de traction et de choc.

NOTICE

SUR

M. ISAAC PEREIRE

PAR M. JULES GAUDRY

J'ai accepté comme un honneur de rendre hommage devant la Société des Ingénieurs à l'illustre mémoire de M. Isaac Pereire, qui fut un de ses membres associés.

Je n'ai pas à m'occuper ici du grand financier, du penseur profond et du publiciste éloquent trop peu connus, de l'homme bienfaisant, de l'économiste pratique et libéral dont la plupart des idées sont devenues classiques, du « *réformateur jamais révolutionnaire*, » comme il l'a dit lui-même de son frère Émile et de sa propre personne.

Mais le fondateur de la plupart des industries actuelles nous appartient. L'histoire des Pereire est l'histoire même de l'industrie et du crédit de notre temps, même au delà de nos frontières. Comme de Sully et de Colbert, on peut dire que les Pereire ont été créateurs de l'industrie française et de sa merveilleuse fortune.

MM. Émile et Isaac Pereire, de famille israélite, sont nés le premier en 1800, le second en 1806, à Bordeaux où leur famille était arrivée de Bragance (Portugal) en 1741. Ils furent eux-mêmes leurs propres maîtres dans l'étude des affaires.

On applique quelquefois à l'un de MM. Pereire la légende du solli-

citeur d'emploi d'abord éconduit, et ensuite admis chez un banquier célèbre parce qu'il avait fait preuve d'ordre et d'économie en ramassant une épingle. Cette légende appartient à l'histoire de Lafitte et non à celle des Pereire ; mais M. Isaac la racontait souvent et il l'a peut-être plus popularisée que personne, pour prouver qu'il n'y a rien de petit ni de négligeable en économie industrielle. Et, de fait, les Pereire que nous allons voir si puissants organisateurs ont réuni à un rare degré cette science des détails et des vues d'ensemble qui constitue les grands industriels comme les grands capitaines.

Le temps où MM. Pereire sont entrés par eux-mêmes dans la vie active et publique n'était pas une époque ordinaire : la France épuisée par ses longues convulsions, avait besoin d'une véritable régénération et il y avait alors, disait ces jours derniers un publiciste : « une flo-
« raison étonnante, une sorte de printemps sacré, où, sans savoir en
« quoi ni en qui on croyait, on avait la foi en soi-même et dans l'ave-
« nir, où on se précipitait tous ensemble avec un entrain juvénile
« à la conquête du monde. »

On sait quel a été dans cet entraînement le rôle de l'école saint-simonienne dont les Pereire faisaient partie avec leurs illustres coopérateurs, les Flachat, Clapeyron, Fournel, Olinde Rodrigue, Michel Chevalier, etc.

Lacordaire, le sublime champion de l'école catholique a rendu justice « à ces savants et hommes d'esprit, dit-il, appelant à eux
« sans respect humain, les âmes jeunes et ardentes, sacrifiant leur
« temps, leur fortune, leur avenir à la réalisation d'un culte digne
« d'un siècle, ému de Dieu, pensaient-ils, mais ne voulant le recevoir
« que des mains de la science et du génie. »

Ajoutons qu'ils nous ont donné non seulement l'exemple de la science et du talent, mais celui de s'occuper souvent plus de la fortune de la France que de la leur. On a dit de plusieurs d'entre eux que « la
« richesse est venue les trouver plus qu'ils ne couraient après elle et
« quelques-uns ont fait gagner des millions, ne se donnant à eux-
« mêmes que la stricte aisance. »

Mais ce qui les distingua spécialement c'est un merveilleux bon sens

pratique, un singulier esprit d'initiative et de résolution, enfin ce libéralisme sagement progressif et tolérant, qu'ils n'ont malheureusement pas eu le temps de faire passer partout dans les mœurs publiques.

Leur plan de régénération dans l'ordre spiritualiste n'ayant pas réussi, ils ne participèrent pas à cette *désespérance* dont a parlé Musset. Dans la part qu'ils prirent au renouvellement de la sève de la nation, ils adoptèrent pour mot de ralliement cette maxime qui sert d'épigraphe à toutes les publications de M. Isaac Pereire : « Tout par le travail : « les institutions sociales doivent avoir pour but l'amélioration du sort « moral, intellectuel et physique de la classe la plus nombreuse et la « plus pauvre. »

Dans la grande œuvre des Pereire on nomme tout d'abord les chemins de fer.

« La génération actuelle, dit M. Isaac Pereire, dans une de ses « publications [1], ne se doute pas des hésitations avec lesquelles a été « abordé en France l'établissement des voies ferrées. On croirait à « peine aujourd'hui aux difficultés qu'eurent à surmonter les fondateurs « et propagateurs de cette grande industrie. »

On se rappelle que l'un des premiers hommes d'État de ce temps les appela en pleine Chambre des députés : « Un joujou pour mener « en promenade dans la banlieue, une sorte de montagne russe pour « amuser les Parisiens, un instrument tout au plus bon pour le rou- « lage. » Arago lui-même, le libéral par excellence de son temps, ne croyait pas que les chemins de fer pussent servir en guerre. Si nous rappelons ces souvenirs ce n'est pas pour récriminer, mais pour encourager les progressistes de notre temps, combattus comme ils le seront toujours, et aussi pour faire ressortir la gloire des Pereire et de leurs collaborateurs.

Ce sont des prodiges d'énergie, de tact et de désintéressement qu'ils durent opposer aux résistances du roulage, des diligences et de la batellerie ; des maîtres de poste et des aubergistes ; des intérêts de

1. *La question des chemins de fer*, 1879.

clocher, des passions de partis et même des populations dont les chemins de fer venaient secouer l'indolence.

L'Angleterre, l'Allemagne, la Belgique et les Etats-Unis avaient déjà tout un réseau de voies ferrées; la France en était encore à l'essai peu encourageant de deux petites lignes à traction par les chevaux ou les bœufs, mais sur l'une desquelles cependant, l'ingénieur Séguin avait inauguré la chaudière tubulaire qui devint l'âme de la locomotive.

En 1835, MM. Pereire obtinrent la concession des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles, rive droite, les premiers construits tels que nous les comprenons aujourd'hui. Ce qu'on ne saurait trop admirer c'est que le matériel et l'exploitation furent conçus dès le principe avec tant de prévoyance et de méthode, que ce que MM. Pereire ont créé il y a bientôt un demi-siècle existe encore presque en son type originaire; de même que dans leurs créations successives ce qui a été transformé après coup, l'a généralement été suivant les plans qu'ils n'avaient pu faire accepter au début.

Le succès obtenu d'emblée par le chemin de Saint-Germain a décidé de l'avenir du réseau. Pendant de longues années, MM. Pereire furent les promoteurs et souvent les organisateurs des nouvelles voies ; leurs ingénieurs et les chefs de services formés à leur école se sont répandus partout. Après avoir pris modèle à l'étranger qui nous avait devancé, nos chemins de fer devinrent à leur tour des types de construtions solides, faisant la fortune des actionnaires pendant que, presque partout autre part, ils ne rapportaient que de minimes bénéfices. Et ce qu'on peut ajouter sans injustice comme sans flatterie, puisque le fait est acquis, c'est que, si quelques-unes de nos lignes ont eu des débuts difficiles et une création tourmentée, ce ne furent aucune de celles où domina l'influence des Pereire.

Dans la fameuse loi de 1842 qu'on appelle la *constitution des chemins de fer en France*, cette influence des Pereire fut prépondérante et s'il fut des principes qu'ils ne purent faire alors triompher, ils sont devenus plus tard ceux de la loi de 1852 par la nécessité des circonstances.

L'année 1843 est une grande date dans l'histoire des chemins de fer et dans celle des Pereire : c'est celle de la création du chemin de

fer du Nord, la première ligne de grand parcours. Elle fut terminée en neuf mois.

Le plus puissant financier de l'époque y donna son concours et en a conservé la présidence que son fils Alphonse de Rotschild possède encore après lui ; mais l'organisation technique et administrative appartient aux Pereire assistés du personnel dont ils étaient les inspirateurs : à ces grands ingénieurs qui se nomment Clapeyron, Lechatellier, Eugène Flachat, Mony, Maniel, Petiet directeur de l'exploitation et du matériel ; et à ces incomparables chefs de service devenus aussi des maîtres, Chobrzynski, aujourd'hui leur doyen, les Mathias, Nozo, Loustau, Deligny, Rhoné, Mayer, Love.

Un autre grand fait industriel est contemporain de celui de la création du chemin de fer du Nord. C'est à cette époque que la construction des machines a pris en France son essor.

Déjà au chemin de Saint-Germain et Versailles, on avait demandé à l'industrie indigène tout ce qu'elle pouvait faire. Les anglais qui avaient la pratique acquise durent naturellement nous fournir des rails, des wagons et des locomotives, nécessaires au moins à titre de types ; et ce fut déjà un grand talent que de savoir choisir parmi les systèmes alors si divers. C'eût été un faux patriotisme que de s'adresser exclusivement aux fabriques françaises qui avaient tout à apprendre, mais leur part fut faite et la réussite a montré une fois de plus ce que peut faire en France toute industrie encouragée.

Nous possédions alors quatre ateliers d'une certaine importance : le Creusot qui avait fait la pompe à feu de Marly ; à Paris, Edwards successeur des célèbres Perrier, Cavé et Pihet. Ce dernier, le principal peut-être, occupé à d'autres spécialités, ne paraît pas avoir travaillé pour les chemins de fer ; Edwards qui fut ensuite le premier ingénieur en chef du chemin de fer de l'Est, outilla les ateliers du chemin de Saint-Germain aux Batignolles : Cavé fit ses deux locomotives : *la Gauloise* et *la Dorade* remplies de dispositions originales dont plusieurs sont restées. Le Creusot fit six locomotives dont une, *la Gironde*, a servi aux mémorables expériences de Gouin et Lechatellier, études scientifiques encore sans précédent. Ces machines ont toutes jusqu'à la fin fait leur bon service à côté des célèbres types de Stephenson, Sharp, Bury, Hawthorn, Hic, Newton, Rothwel.

Elles étaient même les machines de *coups de force* aux jours de fêtes.

A la création du chemin de fer du Nord le patriotisme des fondateurs alla jusqu'à l'audace : la totalité du matériel a été demandée à l'industrie indigène. Toutes les forges et fonderies de France firent des rails, des plaques tournantes ; les fabriques s'improvisèrent pour les wagons et pour cette infinie variété d'articles dont se compose un matériel de chemin de fer. Calla, Warral et les maisons d'Alsace firent des tours et autres outils dignes de Witworth, Sharp et Nasmith. Le Creusot, Hallette d'Arras, Cavé et Cail, à Paris, agrandirent et outillèrent leurs ateliers et ils fournirent des lots considérables de locomotives, dites du *type Clapeyron* et autres. Les ateliers de Koechlin et la société de l'expansion à Mulhouse, ceux de Stéhélin, à Bitschwiller, prirent une nouvelle extansion et firent également leurs livraisons ; les ateliers de Clichy furent créés de toutes pièces par Ernest Gouin, qui, en sortant de l'École polytechnique, était allé faire son apprentissage chez Sharp en Angleterre, d'où il revint pour être le premier chef des ateliers du chemin de Saint-Germain.

Ce serait passer en revue la presque totalité des lignes alors morcelées, dont se constitua bientôt le réseau, que de relater toutes celles dont les Pereire furent plus ou moins les organisateurs.

Ils furent les promoteurs de la ligne de Paris à Mulhouse, fusionnée ensuite dans le réseau de l'Est, et ils décidèrent la construction du viaduc de Chaumont restant encore le plus magnifique ouvrage en son genre.

Le réseau du Midi, avec ses prolongements en Espagne, a été, et est restée une des principales créations des Pereire. M. Isaac, envisageant sa portée de politique internationale, aimait à répéter : « que mieux que Louis XIV, il pouvait dire qu'entre la France et l'Espagne il n'y a plus de Pyrénées. Ici, parmi ses habiles coopérateurs, nous trouvons Surrel et Mathieu, notre président actuel de la Société des Ingénieurs.

Aux chemins de fer de Lyon la part des créateurs est peut-être délicate à faire ; M. Isaac Pereire a organisé la première Compagnie. Dans la suite il prit une part importante à l'administration et ce qui

est certain c'est que l'époque de son influence a coïncidé avec la période la moins tourmentée de cette entreprise aujourd hui si considérable, mais qui eut des débuts difficiles. C'est dans le temps où MM. Pereire étaient les inspirateurs des programmes que fut décidé celui des belles locomotives dites du *type Barrault.*

C'est aussi à cette époque que se sont formées les deux fameuses écoles dont les principes n'ont pas encore tous fusionnés, et qu'on appelle : l'une l'*Ecole de Lyon-Orléans* ou de *Julien-Talabot-Polonceau* et l'autre l'*Ecole de Saint-Germain-Nord*, ou de *Pereire-Petiet-Flachat.*

Déjà en ce temps étaient aussi posées ces deux questions, redevenues si vives aujourd'hui, savoir : l'exploitation des chemins de fer par l'État ou par l'industrie privée et celle de la fusion des lignes en un petit nombre de grands réseaux régionaux.

Dans l'une et l'autre question l'influence des Pereire a triomphé et M. Isaac Pereire y a conquis, autant que dans les questions de crédit public, sa réputation de publiciste et d'économiste.

On s'emporte aujourd'hui contre ce qu'on appelle le monopole des grandes Compagnies. Voici comment M. Isaac Pereire a répondu dans sa brochure de 1879, intitulée la question des chemins de fer :

« Le système de concentration des lignes qui a prévalu, a produit « des effets inespérés. Avec le système de fractionnement tout est partiel « et incomplet ; avec celui de la concentration tout est plein et achevé ; « c'est la différence des villes mal percées et mal conçues, où l'irré- « flexion et le caprice individuel multiplient les impasses, les détours, « les voies étroites ou inutiles, et des cités bien administrées où une « idée générale, une conception élevée, distribue le mouvement et la « vie, et règle la circulation par un vaste réseau de voies et d'avenues, « image de l'ordre et de la prévoyance.

« Ce que produit en matière de chemin de fer la concurrence sans « frein et sans limites, des crises funestes l'ont montré dans d'autres « pays. Il a fallu de longues années pour effacer la trace du désordre « jeté en Angleterre, dans la création des chemins de fer. Aux Etats-

« Unis, d'incalculables désastres ont été le résultat de la rivalité témé-
« raire des Compagnies, de la concurrence désespérée qu'elles se sont
« faites pour s'emparer d'un trafic qui ne suffisait plus à les alimenter
« toutes. Quarante-sept Compagnies déchues en 1877 ; leurs lignes
« mises en vente; seize autres Compagnies mises sous séquestre;
« plusieurs milliards engloutis dans ces désastres; des grèves formi-
« dables, conséquences forcées de la réduction des salaires des
« employés et des ouvriers de chemins de fer; la circulation arrêtée,
« la destruction des locomotives, l'incendie des ateliers, des collisions
« sanglantes dans plusieurs villes et, ce qui est plus grave, l'effondre-
« ment de l'autorité en présence de l'émeute, tels ont été les effets des
« concurrences désordonnées.

« On avait d'abord pensé qu'elles profiteraient au commerce et à
« l'industrie par l'abaissement des tarifs et des prix de transport.
« Cette illusion s'est bientôt dissipée. Épuisées par la lutte, les Com-
« pagnies concurrentes, sous le coup d'une impérieuse nécessité, ont
« dû s'entendre, constituer des syndicats, et les premiers articles de
« pacte d'union ont eu pour effet la diminution du nombre des trains,
« la réduction de la vitesse, le relèvement et l'exagération de tous les
« tarifs. Le même fait s'est produit dans d'autres pays, notamment en
« Autriche et en Hongrie; et c'est ainsi que par une loi fatale, on a
« vu les excès de la concurrence tourner au préjudice de ceux qui
« croyaient en tirer profit.

On s'emporte, disons-nous, contre le monopole des chemins de fer et cependant on veut créer le plus formidable monopole qui se puisse concevoir : *la possession de tout le réseau ferré par l'Etat.* Toute la vie des Pereire a été une protestation contre cette école qui anéantit l'activité privée et qui veut faire de l'État le régent et l'entrepreneur universels.

Certain empereur romain voulait que le peuple n'eût qu'une tête pour en être plus facilement le dominateur; certains économistes de notre temps, qui n'ont assurément rien de commun avec le tyran de Rome, font sans le savoir le même vœu que lui, lorsqu'ils veulent créer *l'Etat-tout*, l'État chargé des transports, des mines, des assurances et vendant jusqu'aux allumettes. Et, ce qui est plus singulier,

c'est que les apôtres de ce système se disent libéraux, ne s'apercevant pas qu'ils sont d'implacables ***réactionnaires*** contre les ***idées de*** 1789 qui ont produit l'émancipation de l'industrie; MM. Pereire étaient au contraire les apôtres de l'initiative privée et du ***Self-Acting***, à défaut duquel une nation reste indolente, craintive et sans esprit de progrès.

Nous devons à l'influence de MM. Pereire ces admirables organisations, des magasins et de l'économat, de la comptabilité, du contrôle et de la statistique, qui du chemin de fer du Nord se sont répandues en toutes administrations.

On leur doit aussi, m'a-t-il été affirmé, l'initiative de la division du capital social en titres d'une valeur de 500 francs, ainsi que la création du système des obligations y compris le mécanisme de l'émission, et du payement par coupon, qui a rendu ceux-ci populaires et permis le concours universel. Jusqu'alors tout au moins la jurisprudence de l'autorité administrative n'autorisait que des parts sociales considérables, laissant l'affaire entre un petit nombre de grands capitalistes; avec ce système le réseau français serait encore à créer; la fortune et l'activité publiques seraient à peu près ce qu'elles étaient il y a cinquante ans.

Quant à cet excès de bureaucratie paperassière venue de Belgique et d'Allemagne, qui avait suscité, en 1870, des colères si vives mais si passagères, nous croyons savoir que M. Isaac Pereire en ses vieux jours ne perdait aucune occasion de la condamner.

Chateaubriand s'est épouvanté à la perspective de cette « *Société-* « *ruche* où chaque citoyen n'est plus qu'*une abeille;* où grandira « peut-être l'humanité dans son ensemble, dit-il, mais où l'individu « s'amoindrira. » Comme Chateaubriand, M. Isaac Pereire répugnait à ces systèmes administratifs basés sur la suspicion générale, où l'agent toujours inquiet de sa responsabilité et privé d'initiative, n'est plus qu'un outil passif et un rouage dans une grande horloge; où les habiles deviennent les maîtres, garés, disent-ils, dans un inextricable réseau de formes hiérarchiques dont ils tiennent le maître fil et où tout périt avec eux le jour où ils tombent.

Tant que l'influence des Pereire a subsisté c'a été le règne de l'initiative privée, de l'action individuelle. On sait ce qu'elles ont produit dans les entreprises de ces grands organisateurs.

La France ne leur devrait-elle que cela, plus son réseau de chemins de fer, ce serait déjà un grand titre à la reconnaissance publique; mais il y a peu d'industries que MM. Pereire n'aient contribué plus ou moins à populariser.

On crut un moment que le chemin de fer à tube atmosphérique était un progrès; on en fit immédiatement l'application au chemin de fer de Saint-Germain : puis on reconnut qu'on pouvait gravir des rampes réputées jusqu'alors inaccessibles avec de puissantes locomotives à adhérence classique; Flachat, l'un des lieutenants des Pereire, fit sa locomotive *Antée*. Plus tard Lechatellier, autre collaborateur des Pereire, ajouta aux locomotives de rampes le frein qui porte encore son nom, ainsi que les contrepoids, qui détruisent les actions perturbatrices des machines.

L'industrie du gaz, on le sait maintenant, est d'origine française. Au début du présent siècle l'ingénieur des ponts et chaussées Lebon d'Humbersin fit, sous le nom de *Thermolampe*, de sérieux essais publics d'éclairage et de chauffage par le gaz distillé des combustibles et de diverses industries qui s'y rattachent, outre ses travaux sur la production de la vapeur et du *vide par le froid*.

Parmi ceux qui ont ramené d'Angleterre en France l'invention de Lebon, le nom des Pereire se place à côté de ceux des Dubochet et de Pauwels.

Les prodiges de l'électricité appartiennent plus à l'époque présente qu'à celle des Pereire. Cependant dans leur étonnante prévoyance de l'avenir, ils en ont patronné les découvertes à mesure qu'elles apparaissaient : ils ont fait faire au chemin de fer de Saint-Germain les essais de télégraphie électrique de Wheaston en 1843. Ils ont établi à la même époque les horloges électriques à la gare de Saint-Germain ; ils ont fait établir, presque les premiers, des phares électriques sur les paquebots de la Compagnie transatlantique, de même qu'ils compri-

rent dès le principe, dans la marine, le rôle futur des condenseurs à surface et des hélices jumelles.

L'entreprise de transports maritimes aujourd'hui si considérable que nous venons de nommer, a été l'une des grandes créations des Pereire : mieux encore que dans l'expédition du Mexique, on en voit en ce moment l'intérêt national.

Pour en apprécier le mérite, il faut se rappeler ce qu'était alors la marine commerciale en France. Le prince de Joinville et l'ingénieur Dupuy de Lome avaient créé une flotte à vapeur pour la guerre; mais la marine commerciale n'avait encore que des voiliers à la veille d'être démodés et elle ne possédait pas un paquebot de 300 chevaux. Tout le trafic à vapeur de nos ports se faisait par les Anglais et les Américains. Les premiers avaient ces correspondants de Cunard et autres qui viennent prendre encore au Havre sous nos yeux une si grande quantité de fret : ce *qui leur* fit dire dans l'enquête parlementaire que la France est *une mine de fret*. Les paquebots directs pour l'Amérique appartenaient tous aux Américains. Après le *Humboldt* et le *Franklin* qui firent événement au Havre, vinrent le *Vanderbilt* si curieux par ses machines à balancier supérieur dépassant la hauteur des roues, l'*Adriatic*, le plus puissant de son temps et l'un des plus beaux dans ses formes, le *Naskwill* particulier par sa machine unique et la somptuosité de ses emménagements et plus tard par ses prouesses de corsaire dans la guerre de cessession. Ils avaient si peu de trafic, bien qu'ils n'eussent qu'un départ mensuel, qu'on leur substitua les deux petits steamers *Arago* et *Fulton*.

Quant au port du Havre, notre premier de l'Océan, il était tellement primitif encore avec sa passe étroite au pied de la vielle tour de François Ier et avec ses bassins creux de cinq mètres, qu'on avait dû draguer au fond de l'avant-port une place pour laisser à flot le steamer américain; quand celui-ci sortait ou rentrait, il fallait une heure pour le haler au câble sur lequel tiraient deux cents hommes.

Deux tentatives de paquebots-postes français avaient misérablement échoué. On voudrait oublier ces bateaux à vapeurs combinées d'eau et d'éther, invention séduisante, mais sans consécration de la pratique,

et surtout cette entreprise solennellement votée aux Chambres, ayant pour but de faire du service commercial avec des frégates assurément fort belles pour leur destination guerrière, mais absolument impropres à un service industriel. C'est dans ces circonstances que les Pereire acceptèrent, ce que les Anglais eux-mêmes refusaient de faire, du Havre et de Saint-Nazaire les têtes de lignes d'une grande entreprise de navigation commerciale par paquebots-postaux.

On peut créer un outillage ; mais ce qui est bien autrement difficile, c'est de créer un personnel maritime. Encore aujourd'hui c'est très péniblement qu'on recrute les équipages et ingénieurs réellement aptes aux paquebots. L'instruction maritime fait entièrement défaut. L'École centrale elle-même n'a pas un cours pour cette spécialité la plus importante et la plus remplie d'avenir et jamais peut-être on y a demandé pour étude un projet de navire.

Les sujets de la marine de l'État, gens de premier ordre pour les vaisseaux et frégates ont presque tout à oublier lorsqu'ils passent à la marine commerciale, où l'apprentissage est tout autre.

Par ces entraves actuelles on peut comprendre quelles difficultés rencontrait le projet de service transatlantique des Pereire, qui n'avaient pas même les ressources premières qu'avait trouvées à son début la Compagnie devenue aujourd'hui si considérable sous le nom *Messageries maritimes.*

La Compagnie transatlantique n'a pu éviter des commencements difficiles. M. Isaac Pereire l'a reprise en maître en 1875, alors qu'elle possédait 13 paquebots ne promenant guère leur pavillon que pour l'honneur.

On sait que la Compagnie générale transatlantique est aujourd'hui l'une des plus considérables qui existent, tant par sa flotte de 68 paquebots totalisant une puissance effective de plus de 112,000 chevaux, que par son trafic embrassant plus de 40 escales étrangères desservies presque toutes plusieurs fois par mois et dont quelques-unes connaissaient à peine le pavillon français.

Dans cette réorganisation de la Compagnie transatlantique M. Isaac Pereire eut pour homme d'action son fils Eugène Pereire, notre collègue de la Société des Ingénieurs et de l'École centrale, président et directeur effectif de la Compagnie, avec M. Cloquemin et M. l'ingénieur en chef Audenet. Dans son conseil d'administration entrèrent plusieurs autres de nos collègues de la Société des Ingénieurs : Chabrier, Elissen, Guérin de Litteau, etc.

L'exemple de nos deux grandes Compagnies, surtout peut-être celle des Pereire, a donné naissance et encouragement à d'autres entreprises et la marine à vapeur de France a aujourd'hui le troisième rang dans le monde.

Comme conséquence, tous nos ports sont en reconstruction, malheusement avec une désespérante lenteur, parce qu'on consacre à tous à la fois les ressources et l'activité avec trop d'amour de l'art, au lieu d'en finir d'urgence dans les principaux par des procédés plus expéditifs et moins parfaits, mais plus pratiques comme à Anvers et aux docks Victoria de Londres.

Après avoir pacifiquement révolutionné la France par les chemins de fer, par le gaz, par les institutions de crédit, par une multitude d'entreprises et par la pratique d'idées nouvelles, M. Isaac Pereire a entrepris l'œuvre de relier à la France les pays d'outre-mer et il a déjà réussi à développer un mouvement d'affaires internationales qu'on n'aurait pas cru possible il y a vingt ans.

Nous ne tairons pas qu'il est resté peu favorable au développement des voies fluviales et des canaux à l'intérieur comme ne pouvant jamais donner lieu qu'à un service sans régularité certaine et qu'il résumait ses plans : aux chemins de fer sur terre puis aux paquebots maritimes pour continuer leur parcours sur mer.

D'autres idées ont cours en ce moment : l'auteur de cette notice oublierait les traditions de sa jeunesse s'il était sans affection pour les voies fluviales et les canaux qui les relient ; mais il ne faut traiter qu'avec respect l'opinion de ces grands novateurs qui ont transformé plus que la France.

Car l'activité des Pereire a dépassé nos frontières : ils ont couvert l'Espagne de leurs entreprises. Ils ont eu leur part dans la création des chemins de fer russes, suisses et autrichiens. Ils y ont fait envoyer un nombre considérable de locomotives et de toutes sortes d'articles de matériel, alimentant ainsi nos ateliers qui ont pris alors de nouveaux développements. En introduisant en tous ces pays des principes administratifs imités des nôtres autant qu'ils se pouvaient, ils ont préparé l'union internationale des services et du transit qui se fera sans doute un jour et ils ont répandu sur la science française et son esprit civilisateur un incomparable prestige.

Enfin ils ont porté l'industrie française et les puissantes ressources de leur crédit au delà des mers, notamment en ces merveilleuses régions du Vénézuela qu'on a appelé une *nouvelle terre promise.*

C'était selon M. Isaac Pereire bien servir les intérêts de la France que de développer non seulement sa richesse propre, mais celle des nations avec lesquelles elle peut établir un commerce international. C'est, disait-il, le moyen pacifique et pratique de supprimer les frontières et fonder l'union des peuples.

Bien que nous n'ayons à retracer ici que l'œuvre purement industrielle de MM. Pereire nous ne pouvons omettre la part qu'ils ont pris aux travaux publics et à la transformation de Paris, ainsi qu'aux combinaisons qui les ont rendues possibles en si peu de temps.

Non seulement ils ont fait construire l'hôtel du Louvre et le Grand-Hôtel à l'instar des établissements existant à l'étranger et encore inconnus en France, mais ils ont fait le percement partiel de la rue de Rivoli et, en entier, celui du boulevard Malesherbes, des quartiers de Monceau et Levallois. C'est d'après leurs idées qu'on a percé aussi les rues de Marignan, Auber, et l'avenue de l'Opéra. On se rappelle que dans les chantiers de ces grandes œuvres on a fait usage, à peu près pour la première fois à Paris, de la plupart des procédés d'élévation, d'échaffaudage etc., qui sont aujourd'hui classiques et ont constitué un si grand progrès dans l'art de bâtir. Aux chantiers du Louvre

on fit l'application de la lumière électrique qui était alors bien nouvelle.

Dans les dernières années de sa vie M. Isaac Pereire voulut se créer, disait-il, une tribune publique, d'où il put exposer à tous et enseigner les principes industriels avec lesquels il avait produit de si grands résultats. Il acheta un journal *la Liberté* où pendant ses cinq dernières années il a traité les plus importants sujets de morale, de politique et d'économie sociale.

Enfin son illustre ami M. Ferdinand de Lesseps n'hésite pas à affirmer qu'il doit, en partie, à l'appui de M. Isaac Pereire le succès du canal de Panama. C'est par ses conseils qu'il s'est assuré la propriété du chemin de fer de Colon à Panama, et qu'il a obtenu le concours des Américains du Nord n'ayant ainsi plus de raison de donner essor à leur jalouse application de ce qu'ils appellent la doctrine Monroë.

Le dernier projet de M. Pereire fut un acte de bienfaisance populaire. Il se proposait une vaste création d'économats publics où les ouvriers trouveraient aux meilleures conditions les articles d'alimentation, de chauffage et d'habillement. C'était la généralisation d'institutions qui ont déjà fait leur preuve dans diverses compagnies industrielles, généralisation offrant sans doute de grands problèmes; mais on peut espérer qu'ils auraient été résolus par celui qui vit créer sous sa direction les économats des chemins de fer qui nous semblent aujourd'hui d'une élémentaire simplicité.

Ce que M. Pereire voulait généraliser aussi, même pour les travailleurs de la petite industrie, ce sont les caisses de secours et de prévoyance des chemins de fer, mais sans les moyens révolutionnaires qui agitent en ce moment un pays voisin.

C'est dans le but d'arriver à une solution pratique de ces grands problèmes qu'il a ouvert le *concours universel avec prix de* 100,000 *fr.*, qui a été le dernier acte de sa vie.

La mort l'a surpris. Son frère Emile l'avait depuis longtemps précédé dans la tombe et la plupart de leurs collaborateurs ont déjà disparu laissant tous le souvenir d'une vie merveilleusement remplie pour le service public et d'une étonnante puissance d'organisation.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE NOVEMBRE 1881

Séance du 4 Novembre 1881.

Présidence de M. Henri Mathieu.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 octobre est adopté.

M. le Président fait connaître que l'année prochaine (en 1882), la Société aura à décerner trois prix : 1° deux médailles d'une valeur de 300 francs chacune; 2° le *prix Nozo*, d'une valeur de 820 francs environ.

Au sujet de ce dernier prix, M. le Président donne lecture des résolutions prises par le Comité, dans sa séance du 21 octobre.

1° Seront admis, au concours, les Mémoires primés pendant les trois années qui précèdent l'échéance de l'annuité du prix Nozo;

2° Seront également admis, les Mémoires de tous les Membres du Bureau et du Comité qui, d'après le Règlement sur le concours pour le *prix annuel de la Société*, sont exclus de ce concours, et qui auront été déposés pendant cette même période de trois ans;

3° Le jury sera composé du *Président*, des *quatre Vice-Présidents* en exercice, et de *trois* Membres de la Société qui seront élus, au scrutin secret, dans la séance ordinaire du premier vendredi du mois de février de l'année où aura lieu le concours. En même temps, il sera nommé *trois* jurés supplémentaires pour remplacer les jurés titulaires absents ou empêchés;

4° Aucun membre du jury ne sera admis au concours. Si le Président ou les Vice-Président en exercice, désirent concourir, ils devront faire connaître leur intention, par écrit, avant le 1er février. Ils seront, dans ce cas, remplacés, pour ce concours, pardes Membres de la Société élus, comme il a été dit plus haut (art. 3), pour les jurés titulaires;

5° Dans le cas, où le Président et les Vice-Présidents en exercice seraient empêchés, les Membres du jury nommeront leur Président ou Vice-Présidents;

6° Le classement des Mémoires, admis à concourir pour le prix Nozo, n'aura lieu qu'après le choix arrêté du Mémoire auquel sera décerné le prix annuel de la Société.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Canovetti, intitulée : « Recherches sur la Théorie des poutres continues, application au calcul des ponts pour routes. »

M. Canovetti. Pour les ponts supportant des voies de fer, la circulaire ministérielle du 9 juillet 1877, a réglé les conditions de résistance, par l'admission de l'hypothèse des surcharges uniformément réparties. La circulaire ne fait pas de différence entre les poutres à une ou plusieurs travées, et c'est le poids qui convient à l'ouverture que l'on considère, que l'on applique dans les deux cas.

Pour les ponts pour routes, la circulaire se borne à prescrire entre les épreuves suivantes celle qui fera subir aux poutres la plus grande fatigue, eu égard à leur portée, savoir :

Une surcharge uniformément répartie et évaluée à raison de 300 kilog. par mètre carré, ou bien une surcharge composée de voitures à deux roues pesant 11 tonnes et attelées de cinq chevaux, ou à quatre roues chargées de 16 tonnes, attelées de huit chevaux; dans ce dernier cas l'écart des essieux est fixé à 3 mètres.

Le constructeur est donc obligé, quelle que soit l'ouverture, à présenter les calculs correspondants aux trois épreuves.

Dans un mémoire publié dans les *Annales des ponts et chaussées* (décembre 1877), M. Kleitz (qui a fait partie de la Commission, chargée de préparer la circulaire), a, pour les poutres à une seule travée, remplacé l'action des charges roulantes, par celle d'un poids uniformément réparti qu'il a calculé pour toutes les ouvertures de 3 mètres à 80 mètres.

(Ce travail est résumé dans un tableau graphique qui accompagne la communication et qui figurera dans le *Bulletin*).

Le tableau montre que, même pour les grandes ouvertures, le poids de 300 kilogrammes par mètre carré (qui équivaut à 750 kilogrammes par zone charretière de $2^m,50$ de large) est inférieur au chiffre représentant l'action des charges et que la charrette n'est à considérer que pour les ouvertures inférieures à 6 mètres.

La courbe de M. Kleitz dans le cas du chariot doit avoir pour asymptote la droite horizontale correspondante à 410 kilogrammes par mètre carré; c'est le poids moyen réparti sur une longueur totale de $19^m,50$ pour le chariot pesant 20 tonnes avec ses attelages et occupant cette longueur.

Pour les *poutres continues*, il s'est borné à constater que les poids par mètre courant sont de beaucoup inférieurs à ceux qui conviennent pour la même ouverture aux poutres discontinues, et qu'un même poids ne peut pas donner avec une approximation suffisante les moments positifs sur les appuis et les moments négatifs vers le milieu de la travée.

Malgré la difficulté de trouver la relation exacte entre des charges concentrées et forcément séparées par la longueur de leurs attelages, et des poids uniformément répartis, tous les ponts pour routes à travées solidaires ont été jusqu'ici calculés avec les charges uniformément réparties correspondantes à chaque travée prise isolément, comme si elle était limitée à ses appuis.

Pour le chemin de fer du Nord, ces poids sont différents, et pour les grandes ouvertures supérieurs à ceux donnés par M. Kleitz.

Ayant eu à s'occuper de ces questions, M. Canovetti a été frappé de ces inconvénients et de l'obligation pour les constructeurs d'effectuer de longs calculs condamnés à l'avance à être en partie inutiles. Généralisant les études qu'il a dû faire pour des cas particuliers, il a voulu faire pour les poutres continues ce que M. Kleitz avait fait pour les poutres à une seule travée.

Dans ces études, le poids propre du pont a été négligé. Ce poids uniformément réparti et invariable donne des moments fléchissants très faciles à déterminer à l'aide des travaux de M. Bresse et ses recherches tendaient à la détermination exacte et facile des moments dus aux charges roulantes considérées seules. L'étude a été limitée aux poutres symétriques par rapport à leur milieu et dans ces dernières aux valeurs les plus usuelles du rapport δ de la longueur d'une travée courante à celle de rive. L'influence du nombre n des travées a été éliminée en supposant d'abord ce nombre égal à l'*infini* et en démontrant ensuite que l'erreur relative que l'on commet en appliquant ces résultats au cas de n limité, mais supérieur à 3 est acceptable.

Au lieu de considérer les moments en valeur absolue, M. Canovetti a déterminé leur rapport au produit Qa, Q étant la charge concentrée unique et a l'ouverture de la travée.

Une fois ces rapports connus, il suffit en effet de les multiplier par Qa pour avoir les moments en valeurs absolues, ce que permettait de faire varier Q et a.

En déterminant alors les valeurs de ces rapports positifs ou négatifs pour 20 valeurs de l'abscisse, M. Canovetti a pu tracer les courbes représentant les moments fléchissants positifs ou négatifs dans la travée et celles des moments positifs engendrées sur les appuis.

A l'aide de ces courbes, il a déterminé le moment additionnel produit par la translation simultanée d'une ou plusieurs charges à des distances fixes et invariables. En faisant alors varier l'ouverture de la travée et en choisissant parmi ces courbes additionnelles celles qui convenaient à la deuxième roue du chariot, aux chevaux, aux autres charges pouvant se trouver sur la travée suivant son ouverture, il a pu, en additionnant ces moments partiels à celui déterminé par la première roue, avoir la valeur absolue des moments suivants :

1° Maximum des moments fléchissants négatifs vers le milieu de la travée;

2° Maximum des moments fléchissants positifs sur l'appui;

3° Minimum des moments négatifs en valeur absolue.

Ces trois valeurs une fois déterminées par chaque ouverture, on a cherché quel était le poids p uniformément réparti qui, introduit dans les formules de M Bresse, ou l'on considère un poids uniformément réparti, mais pouvant occuper toutes les combinaisons les plus défavorables donnât les mêmes moments fléchissants. Ces valeurs successives, réunies par un trait continu ont donné les trois courbes correspondantes aux trois moments considérés. On a d'ailleurs, pour les petites ouvertures, fait intervenir la charrette là où elle était plus défavorable que le chariot ce qui arrive pour les moments 1 et seulement 3 pour les ouvertures de 10 à 12 mètres.

L'étude analytique de la question montrait d'autre part que l'économie relative réalisée pour les moments négatifs par l'effet de la solidarité des travées, était de 0,20 pour 100 environ pour une travée de rive et 0,35 environ pour une travée centrale. Mais, par l'effet de la solidarité des travées, on engendre des moments positifs sur les appuis, qui diminuent notablement cette économie.

En ne considérant des surfaces des moments positifs que la partie qui n'est pas comprise dans l'aire des moments négatifs, on trouve que l'économie totale varie avec l'ouverture de la travée et qu'elle est minima pour les ouvertures de 20 à 25 mètres pour lesquelles elle n'est que de 4 pour 100 environ.

Il va sans dire qu'au fur et à mesure que l'ouverture de la travée augmente, le chargement se rapproche d'un chargement uniforme et qu'à la limite, pour une ouverture égale à l'infini, l'économie pourrait atteindre sa limite maxima égale à 0,18 pour une travée intermédiaire. Telle est, en effet, l'économie maxima que l'on peut réaliser sur les efforts dus aux charges mobiles par la solidarité des travées. Il va sans dire que l'économie sur le poids mort de l'ouvrage peut attendre elle, jusque a 0,60 pour une travée centrale et comme pour les grandes ouvertures le poids mort va en augmentant tandis que la surcharge reste la même, on voit *que l'économie due à la solidarité des travées va en augmentant avec l'ouverture.*

Comme les efforts sont répartis entre toutes les travées on économise toujours 0,20 à 0,25 sur les maximum ou valeurs alsolues.

L'examen des courbes calculées montre clairement : 1° que les valeurs de p jusqu'ici employées sont de beaucoup supérieures à la plus grande des valeurs déterminées;

2° Que l'économie que l'on recherchait dans la solidarité des travées est plus que compensée par cette majoration fictive des efforts et, en conséquence, du poids total;

3° Que la répartition des tôles est nécessairement faite d'une façon illusoire et ne répondant pas aux efforts réels.

En conséquence, il paraît à M. Canovetti de toute nécessité d'avoir à étudier l'effort réel dû aux charges roulantes; quand, malgré l'incertitude du bénéfice, on voudra employer les poutres continues.

A cet effet, il espère que les ingénieurs pourront consulter avec profit son travail et employer les rapports qu'il a calculés.

Ces rapports, en effet, ont été calculés sans supposer de valeurs particulières. En faisant intervenir celles-ci on aura à porter à l'échelle sur les épures des moments dus au poids mort des ordonnées variables, mais proportionnelles aux valeurs des courbes de 4 degrés qui figurent dans le mémoire. — Ces réductions qui doivent tenir compte de l'ouverture de la travée du poids Q et du rapport δ peuvent être confondues en un seul coefficient, et alors, avec un compas de réduction, on pourra effectuer graphiquement et rapidement toutes les applications aux cas usuels.

M. le Président, je pense que le travail présenté par M. Canovetti a un certain intérêt en ce sens qu'il a voulu démontrer qu'il n'est pas toujours nécessaire que, dans un pont, les poutres soient reliées les unes avec les autres, et qu'il y a quelquefois intérêt à les isoler. Cette question est discutée par les ingénieurs pour les applications aux chemins de fer, non seulement au point de vue du montage, mais encore et surtout à celui de l'entretien. Beaucoup d'ingénieurs, se demandent s'il est bon de solidariser les poutres les unes avec les autres, et s'il ne vaudrait pas mieux avoir à faire des réparations sur poutres isolées que des réparations sur poutres continues, M. Canovetti semble dire que, dans les ponts sur routes, il y aurait intérêt à ne pas lier les poutres ensemble; à ce point de vue, son travail est intéressant, et on peut en tirer des conclusions pratiques.

M. Clerc pense que l'économie que présentent les poutres continues est bien réelle. Les études qui font l'objet de la communication de M. Canovetti ont été faites au point de vue de l'effet statique des charges roulantes, mais il est nécessaire, pour connaître l'effet de ces charges, de tenir compte de l'inertie des masses en mouvement; cela paraît sans doute difficile, on peut cependant y arriver d'une manière assez simple par un certain emploi du principe de la superposition des effets des forces. M. Clerc se propose de développer prochainement devant la Société une solution de cette question permettant de déterminer assez facilement, dans ce cas, les moments en tous points ainsi que les moments *maxima*.

Supposons qu'un certain nombre de charges liées entre elles comme seraient par exemple les charges sur les essieux d'un train, se déplacent sur la longueur d'une poutre ; si l'on suppose pour un instant, ces charges réunies à leur centre de gravité, le poids résultant donnera lieu à des moments fléchissants statiques représentés pour tous les points de la poutre par les ordonnées de deux droites dont le sommet correspondra au point

d'application de cette charge concentrée. Si cette résultante roule d'une extrémité à l'autre de la poutre, le sommet de l'angle des deux droites se déplace sur une parabole, c'est là un point établi, mais si l'on remet les charges en leurs places, il suffira pour obtenir le moment en un point d'application d'une charge, de soustraire de l'ordonnée des droites ci-dessus une quantité qui reste constante, quelle que soit la position de cette charge sur la poutre, de sorte que la surface à soustraire du triangle, pour tenir compte de la division des charges est constante. M. Clerc utilise cette constance en appliquant les formules qu'il a établies dans un précédent mémoire et dans lesquelles interviennent les surfaces représentatives des moments fléchissants ; il expose cette idée pour contredire un peu ce qui vient d'être dit sur la difficulté trop grande qu'il y aurait à traiter la précédente question, sans que cela porte nullement atteinte au travail très intéressant de M. Canovetti.

L'étude de l'effet des charges roulantes sera favorable aux poutres continues qui présentent une plus grande masse que les poutres isolées. M. Clerc demande donc à bien réserver la question de l'effet des charges roulantes sur les poutres.

Si l'on veut discuter la question d'économie, il faut tenir compte de tous les éléments qui entrent dans la solution du problème. Les poutres continues présentent le grand avantage de pouvoir être lancées. L'emploi d'un pont de service est très onéreux, on en a cité qui ont coûté le tiers du prix total de l'ouvrage. Or, lorsqu'un constructeur ou une compagnie se trouvent en présence d'une semblable économie à réaliser, c'est pour eux une grave considération.

Dans le mémoire qu'il rappelait tout à l'heure, M. Clerc a beaucoup moins insisté et cela, à dessein, sur l'économie de métal que procure la continuité que sur l'avantage qu'elle présente pour la mise en place de l'ouvrage.

M. Canovetti. M. Clerc a parfaitement raison, dans le cas où l'on tient compte des efforts dynamiques : il est évident que, dans ce cas, une poutre à travées solidaires opposera au choc une résistance considérable ; les travées lui viennent en aide. Mais ces effets, on ne peut pas en tenir compte pour l'effort statique qui est très difficile à déterminer ; quant à l'effort dynamique, il ne s'en est pas occupé. Il eut occasion de diriger des opérations de montage, et M. Clerc a raison de dire que le lançage est avantageux.

M. Canovetti ne dit pas que les poutres non continues seront préférées aux poutres continues ; il dit seulement, après avoir étudié la question, que l'économie est insignifiante pour les petites ouvertures ; c'est surtout pour les grandes ouvertures qu'elle est appréciable.

M. Dallot partage l'opinion de M. Clerc sur la supériorité des poutres continues. Il croit que ce principe est consacré par des applications si importantes et si nombreuses qu'il est difficile de le contester. Le point où il se sépare de M. Clerc est celui-ci : M. Clerc considère comme le principal avantage des poutres continues la possibilité du lançage, qui permet

d'éviter l'emploi d'un pont de service. Il est certain que le prix d'un pont de service est considérable relativement au prix de la construction entière. Mais il ne faut pas oublier que l'application de l'art de l'ingénieur à l'établissement des ponts en tôle a débuté par des spécimens grandioses : le pont du détroit de Menai, le pont de Conway, le pont de Saltash. Du premier coup, les ingénieurs ont abordé des portées à peine dépassées aujourd'hui. Eh bien! pas un seul de ces magnifiques ouvrages n'a été exécuté avec l'aide d'un pont de service et pour aucun d'eux on n'a eu recours au lançage.

La possibilité du lançage n'est donc pas indispensable pour la suppression du pont de service. C'est dans les considérations relatives à l'équilibre qu'il faut chercher les causes des avantages économiques des poutres continues, avantages qui sont accompagnés d'autres non moins précieux au point de vue des effets dynamiques produits par les charges en mouvement.

M. Clerc répond qu'il est certain que l'on devra employer le système de montage auquel M. Dallot fait allusion, toutes les fois qu'il sera le plus économique, mais ce système suppose que la poutre a pu être montée complètement à pied d'œuvre, ce qui n'est pas toujours possible, à cause, par exemple, de la déclivité du terrain, ainsi que cela se produit généralement pour les travées de rive, ou bien parce que la hauteur de la vallée est trop grande, ou encore parce que, au fond de cette vallée, se trouve un cours d'eau non flottable, et tant d'autres motifs sérieux. Il existe d'autres systèmes que celui dont vient de parler M. Dallot pour le montage des poutres; il y a par exemple un système du Creusot et qui consiste en une poutre tubulaire formant une sorte d'avant bec dans l'intérieur de laquelle on monte la poutre à construire. M. Clerc conclut, en résumé, que d'ici à longtemps encore il se trouvera un très grand nombre de cas où les poutres continues se présenteront comme la solution la plus économique, et cela surtout à cause de la possibilité d'opérer le lançage.

M. Canovetti. Nous admettons une économie plus ou moins variable, — si l'on tient compte des efforts réellement développés, mais si, pour ne pas avoir de préoccupations on prend pour les remplacer, un poids notablement supérieur l'économie disparaît; tandis que si vous aviez pris la même poutre, si vous aviez déterminé réellement la surface totale des moments en restant dans les limites de la circulaire ministérielle, le prix de ce pont-là serait certainement inférieur. Les poids donnant les moments positifs sur les appuis sont certainement à peu près le 60 pour 100 de ceux employés jusqu'à présent. Si on avait fait l'effort réel, on aurait eu avantage, tandis que si, au lieu de prendre un poids de 1,200 kilog. qui pour une ouverture de 12 mètres correspond aux prescriptions de la circulaire ministérielle, on prend 2,000 kilog. (courbe du Nord) il n'y a plus d'économie. Il faudra alors s'astreindre à un travail très difficile et se rendre compte des efforts réels; j'ai remplacé l'analyse par un graphique. Alors en em-

ployant les poutres continues, vous faites ce travail; sinon, vous vous mettez en dehors de l'économie, si vous prenez pour les poutres continues le même poids qui conviendrait aux poutres à une seule travée.

M. Canovetti expose une cause de perte. Ainsi, voici une poutre coupée sur ses appuis; les courbes seront des paraboles du second degré. Pour les envelopper vous êtes obligés de le faire par des polygones, et ces surfaces perdues sont considérables. Si vous prenez une poutre solidaire, vous n'avez plus une courbe unique, vous avez plusieurs courbes. Vous n'irez jamais dans les angles de ses courbes; plus vous augmentez le polygone, plus vous augmentez le poids. Dans les calculs de M. Canovetti, c'est la comparaison des aires réelles seules qui lui ont servi à déterminer le minimum d'économie pour une ouverture défavorable. Comme les chariots ne peuvent être rapprochés de plus de 20 mètres, les moments sont variables avec le nombre de convois qui se trouvent sur la travée que l'on considère. Pour les ouvertures inférieures à 15 mètres, il ne pourra jamais y avoir qu'un seul chariot autour de l'appui; pour les ouvertures de 20 à 25 mètres un chariot peut se trouver sur chaque travée; la perte est plus grande, pour cette ouverture-là, et il n'y a que 4 pour 100 d'économie théorique. Supposez une distance infinie, la distance entre les convois devient négligeable, nous avons un chargement uniforme, et l'économie qui n'était que de 4 pour 100 pour une ouverture de 25 mètres devient égale à 18 pour 100 pour les grandes ouvertures.

M. Dallot. Il est certain que les travées de faible ouverture donnent lieu à des cas particuliers. Mais négligeons-les et négligeons également les considérations de détail qui viennent d'être présentées sur la différence entre les aires théoriques et les aires réalisées par la répartition des matériaux. Tenons-nous-en aux grands résultats fournis par la pratique. Aux États-Unis on ne construit que des poutres discontinues. Or, il a été établi, dans une discussion dont la Société se souvient certainement, que les ouvrages du chemin de fer du Midi, exécutés par M. Flachat, notre maître si regretté, ont présenté une économie très sensible sur les ouvrages similaires des États-Unis travaillant au coefficient de 8 kilogrammes.

D'autre part, les ingénieurs anglais, après avoir longtemps contesté les avantages des poutres continues, ont fini par les adopter, une fois que l'expérience leur a eu donné confiance dans les résultats de nos méthodes de calcul.

M. Dallot croit qu'on peut considérer comme solidement établi par une expérience de trente ans et par des centaines de grands ouvrages que les poutres continues présentent une économie considérable et possèdent une stabilité complète.

M. Dallot tenait à affirmer ces faits. Ce n'est pas la première fois qu'il en rencontre l'occasion. Mais lorsque les principes sont contestés, il ne faut pas se lasser de les défendre.

M. Canovetti dit qu'il n'a pas voulu parler d'un pont pour chemin de fer, mais bien d'un pont pour route, pour lequel la charge se compose de

chariots attelés de chevaux, et occupant sous un faible poids une grande longueur en faveur du tablier. C'est précisément parce que la surcharge n'est pas uniforme qu'il a entrepris ce travail. Les convois de voitures sont tellement éloigné d'un chargement uniforme que ce n'est pas possible d'établir de comparaison avec les chemins de fer pour lesquels cela arrive ou à peu près.

M. Piarron de Mondesir. Au sujet des ponts de service établis pour le montage de grands ponts métalliques à travées indépendantes, dit qu'il a fait lui-même, en Russie, l'expérience de ces ponts de service, parce que le Gouvernement l'a forcé à le faire, sur le Niémen, la Néva, et d'autres grandes rivières. Les ponts de service ne servent pas seulement au montage du pont métallique : ils ont été établis de manière à donner passage aux locomotives et à faciliter le transport du ballast et des matériaux, et rendent de grands services, indépendamment du montage du pont métallique.

Ce n'est pas un plaidoyer qu'il fait en faveur des travées indépendantes, car il est convaincu que la poutre continue offre un avantage incontestable sur la travée indépendante.

M. le Président. La poutre continue a un avantage indiscutable sur la poutre discontinue, au point de vue de l'économie de la construction; quand j'ai dit qu'il y avait discussion entre certains ingénieurs, c'est au point de vue de l'entretien. Quand les grands ouvrages commenceront à péricliter, on hésitera à y mettre le marteau, et les ingénieurs se préoccupent de cette situation; ils se demandent s'il est prudent, dans ces conditions-là, au point de vue des réparations, d'établir à poutres continues des ponts de 500 ou 600 mètres de longueur, avec des travées de 100 mètres de portée. Il y a des ingénieurs qui n'ont pas hésité et qui ont mis des poutres discontinues; je ne discute pas, je cite un fait.

M. le Président remercie M. Canovetti de sa communication; il est entendu qu'elle reste limitée au cas des ponts sur routes.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Martin sur l'unification de l'heure à Paris, par la Compagnie générale des Horloges pneumatiques.

M. Martin. Avant d'entrer, Messieurs, dans la description détaillée des différents appareils composant ce que nous appelons un centre horaire pneumatique, je vais vous donner un aperçu général de la marche de ces appareils, depuis la production de l'air comprimé, jusqu'au fonctionnement des pendules ou horloges réceptrices.

Les compresseurs mus par un moteur quelconque, et à quelque distance qu'ils soient placés du centre horaire, envoient directement l'air comprimé dans des récipients installés près de ce centre, je les appellerai réservoirs à haute pression ; cet air comprimé est ensuite détendu automatiquement dans d'autres réservoirs appelés distributeurs, par l'intermédiaire d'un

régulateur de pression à mercure; l'air dans ces derniers réservoirs doit nécessairement être maintenu à une pression constante; et c'est cette pression qui, chaque minute, est projetée dans la canalisation, par le fait de l'ouverture d'un tiroir de distribution mû lui-même par le régulateur ou horloge centrale; la pression reste un certain nombre de secondes dans cette canalisation pour actionner les pendules réceptrices, puis revient au centre horaire s'échapper à l'atmosphère. Voilà en deux mots, l'ensemble de cette très simple opération qui se répète ainsi chaque minute, et produit le mouvement d'ensemble des aiguilles de toutes les pendules placées sur le parcours de la canalisation.

Ceci étant établi, je vais prendre ces appareils les uns après les autres, et essayer de vous en montrer en détail, et la construction et le fonctionnement.

J'admets comme un fait acquis, la production de l'air comprimé, production qui peut être obtenue, suivant les cas, d'une façon quelconque, soit par des compresseurs sans piston à eau, appareils à simple déplacement, ou appareils à entraînement, soit par des compresseurs sans piston à vapeur; tels que les injecteurs Siemens ou comprimeurs Koerting, ou enfin par des compresseurs à piston agissant directement sur l'air.

Pour l'exploitation de Paris, où nous avons besoin d'une pression relativement forte, nous nous servons de ces derniers que nous actionnons par des machines à vapeur. Nous employons depuis une année environ des compresseurs à haute pression, à action directe et refroidissement par bâche, construits par MM. Sautter et Lemonnier et qui fonctionnent d'une façon admirable.

L'air comprimé par ces appareils à une pression variant entre 2 et 3 atmosphères absolues, est, ainsi que je l'ai déjà dit, directement envoyé dans les réservoirs à haute pression du centre horaire pneumatique, et ne peut pénétrer dans le réservoir distributeur qu'autant que le régulateur de pression à mercure le lui permet, ce qui arrive chaque fois que ce réservoir distributeur en a besoin, c'est-à-dire toutes les minutes.

Le régulateur de pression est formé de deux capacités superposées; celle supérieure communiquant avec celle inférieure par un tube central qui descend très près du fond de cette dernière. La capacité inférieure est en outre en communication avec le réservoir distributeur, et contient du mercure, qui, sous l'influence de la pression contenue dans ce réservoir, monte par le tube central dans la capacité supérieure, à une hauteur correspondante à cette pression.

Par le fait de la communication du réservoir distributeur avec le régulateur de pression, il résulte que si la pression de ce réservoir vient à baisser par suite de l'émission d'une certaine portion de son volume dans la canalisation, une pression plus faible aussi, s'exerce sur la surface du mercure de la capacité inférieure, elle monte d'une certaine quantité, tandis que le niveau de la colonne de la capacité supérieure, baisse. Un flotteur, qui nage à la surface de cette colonne, suit son mouvement et baisse aussi; la tige

verticale de ce flotteur étant articulée avec une bielle calée sur la clef d'un robinet, fait ouvrir ce robinet et laisse passer dans le réservoir distributeur un volume d'air exactement égal à celui qui a été perdu dans la canalisation; en effet, par le fait de l'ouverture du robinet, la pression augmentant dans le réservoir distributeur, et, par suite, dans la chambre à air de la capacité inférieure, fait baisser le niveau du mercure et le fait monter dans la capacité supérieure, d'où relèvement du flotteur, de la bielle, et fermeture du robinet; on voit donc que les réservoirs haute pression, distributeur et le régulateur de pression sont intimement liés ensemble. Ce régulateur ne fonctionne que s'il se produit un changement de pression dans le réservoir distributeur, et si en même temps le réservoir haute pression peut remplacer le volume d'air perdu. Il est donc entendu que la pression du réservoir distributeur est constante.

M. Piarron de Mondesir. Quelle est cette pression ?

M. Martin. Elle est variable, suivant la longueur de la canalisation. Pour le moment, à Paris, où nous avons une canalisation qui embrasse les Ier et IIe arrondissements la pression est de 0,75 d'atmosphère en sus de la pression atmosphérique.

L'air comprimé à pression constante, renfermé dans le réservoir distributeur est en communication directe avec une boîte à tiroir, dont la glace est percée de trois orifices : le premier de ces orifices, que le tiroir ne recouvre jamais est celui qui fait communiquer cette boîte à tiroir avec le réservoir distributeur; le deuxième orifice est celui qui laisse pénétrer la pression dans la canalisation, et le troisième orifice est celui d'échappement à l'air libre. Le tiroir occupe alternativement deux positions : 1° position fermée, c'est-à-dire que la canalisation n'est pas en communication avec le réservoir distributeur, mais bien avec l'atmosphère; 2° position ouverte, c'est-à-dire que la pression du réservoir distributeur s'échappe dans la canalisation, tandis que l'orifice d'échappement à l'air libre de la boîte, est couvert seul par le tiroir.

Pour le cas pratique actuel, le tiroïr reste ouvert pendant vingt secondes, pour permettre avec sécurité à la pression de se rendre aux points les plus éloignés de la canalisation, et pendant les quarante secondes de sa fermeture, l'excédent de pression, sur la pression atmosphérique, contenu dans la canalisation, s'échappe librement à l'atmosphère.

Il est évident que la section de l'orifice d'échappement de la pression dans la canalisation, doit être égale à la somme des sections des différentes conduites, partant du centre de réseau pneumatique; le tiroir doit dans sa position fermée, couvrir deux orifices semblables, ce qui lui donne une surface relativement grande. Le moteur de ce tiroir, étant un simple contrepoids qui ne se met en mouvement qu'aux instants déterminés par l'horloge centrale, devait naturellement vaincre la pression exercée sur la surface de ce tiroir ; cette pression étant de 0k,750 par centimètre carré, exigeait un poids de 50 kilog. ce qui, par suite du mouvement brusque d'arrêt, pouvait détériorer les organes de l'horloge.

Nous avons donc été forcés d'équilibrer ce tiroir, et nous sommes arrivés à notre but, qui était de n'avoir que 25 kilog. de force motrice pour le mouvoir, de la manière suivante : nous avons inscrit dans la surface carrée de ce tiroir un cylindre, dans lequel se meut un piston, composé d'un cuir embouti fixe entre deux plaques de cuivre ; la tige du piston est terminée par une fourche portant un galet qui roule (lorsque le tiroir fonctionne) sur une traverse fixée après la boîte à tiroir.

Il en résulte que toute la pression de 750 grammes par c/m², exercée sur la surface du piston, se transmet sur la traverse fixe, et que le contrepoids moteur du tiroir n'a à vaincre que celle exercée sur les quatre angles, dont la somme des surfaces, est égale à la différence entre la surface totale du tiroir et la surface du piston.

L'horloge régulatrice par elle-même, se compose de deux mouvements : le premier est un mouvement d'horlogerie nécessaire pour la marche des aiguilles; il est très simple, à balancier battant la seconde et à contrepoids moteur. Le second mouvement est un déclanchement qui a pour but, par une série d'engrenages, de permettre au contrepoids moteur du tiroir de se mettre en mouvement, ce déclanchement, a lieu pour l'ouverture du tiroir, à la soixantième seconde de chaque minute terminée, et pour la fermeture, vingt secondes après. Le second mouvement est à volonté dépendant ou indépendant du mouvement d'horlogerie ; de telle façon que l'horloge peut marcher pour donner l'heure sans que le mouvement de distribution ait lieu.

En même temps que le déclanchement se produit, un axe portant un excentrique, fait un demi-tour, par suite l'excentrique une demi-révolution, et sa barre actionne un levier qui fait ouvrir ou fermer directement le tiroir.

Ainsi à la soixantième seconde de chaque minute, ce mouvement se produit; par conséquent le tiroir s'ouvre et la pression s'échappe brusquement du distributeur dans la canalisation. Au bout de 20 secondes, le tiroir se referme, l'excédent de pression, ainsi que je l'ai déjà dit, revient à l'orifice d'échappement à l'air libre, et l'équilibre se rétablit.

Avant de vous donner le détail de construction des mouvements des pendules réceptrices, permettez-moi de vous dire un mot sur la pose de notre canalisation.

Cette canalisation, qui se compose de tubes en fer de 27 millimètres de diamètre intérieur et de tubes en plomb de différents diamètres, est posée dans les égouts. En regard de chaque branchement particulier se trouve un robinet en attente, posé d'avance pour desservir l'immeuble. Sur ce robinet est soudée une conduite de plomb, dont le diamètre varie suivant l'importance de l'immeuble à desservir. Quand il existe une centaine de pendules à placer dans des immeubles importants, dans des hôtels, par exemple, la colonne montante est de 16 millimètres de diamètre; pour les cas ordinaires elle est de 6 à 8 millimètres. Ces colonnes sont placées dans les escaliers de service, autant que possible; pour les conduites de corri-

dors, d'appartements, nous mettons du plomb de 6 millimètres de diamètre, et dans les appartements eux-mêmes, nous mettons, soit des petits tuyaux de plomb de 3 millimètres de diamètre, ou des tuyaux de caoutchouc, avec spirale métallique intérieure; et recouverts de soie dont la couleur s'approprie à celle des tentures, des papiers, ou des peintures. L'extrémité de ces derniers petits tuyaux, plomb ou caoutchouc, est raccordée à un petit soufflet qui est le moteur des pendules ou horloges réceptrices. Il est formé de rondelles d'étoffe caoutchoutée, serties deux à deux. Ce petit soufflet est guidé dans une petite boîte, et, lorsque, sous l'influence de la pression qui lui arrive toutes les minutes, il se gonfle, son mouvement d'ascension verticale se communique à un levier portant un cliquet engagé dans une des 60 dents d'une roue fixée sur l'axe de l'aiguille des minutes; un autre cliquet, diamétralement opposé au premier, empêche la roue de revenir en arrière de son mouvement, lorsque le soufflet se dégonfle. Un taquet d'arrêt limite la course du cliquet de départ, de façon à ne laisser passer qu'une dent à chaque mouvement. Il en résulte que la grande aiguille ne fonctionne que par minute, la petite aiguille suit naturellement son mouvement proportionnel par l'intermédiaire d'une minuterie.

Comme on le voit, les pendules ou horloges réceptrices n'ont pas besoin d'être remontées, mais il n'en est pas de même de l'horloge centrale; puisque ce sont des poids qui en sont les moteurs. Ces contrepoids descendent naturellement d'une certaine quantité chaque minute pour produire les deux mouvements distincts, des aiguilles et du tiroir. Le mécanisme est fait de telle façon qu'à chaque minute, les contrepoids moteurs sont exactement remontés de la quantité dont ils étaient descendus pour produire les deux mouvements. A cet effet deux cylindres fixes reçoivent, lors de l'ouverture du tiroir, une certaine quantité d'air comprimé, et la pression fait monter deux pistons dont les tiges actionnent deux leviers. Chacun correspond à des engrenages qui produisent le résultat voulu. Lorsque le tiroir se referme, l'air comprimé renfermé dans ces cylindres s'échappe à l'air libre et les pistons redescendent à leur place. Ainsi donc, pas de remontage à la main du régulateur ou horloge centrale.

Les trois mouvements principaux de la marche :

1° Celui qui règle la pression constante nécessaire dans le réservoir de distribution;

2° Celui du remontage de l'horloge centrale;

3° Celui du tiroir pour l'échappement de l'air dans la canalisation, ou pour la communication avec l'air libre, sont contrôlés automatiquement par des sonneries électriques.

La pression constante du réservoir distributeur, est contrôlée simplement par deux touches placées dans le manomètre aux deux pressions *maxima* et *minima* que l'aiguille ne doit pas dépasser.

Le contrôle automatique du remontage des contrepoids de l'horloge centrale est obtenu au moyen de deux petits leviers basculants, actionnés par

les contrepoids tendeurs de chaînes, qui naturellement suivent un mouvement opposé à celui des contrepoids moteurs, c'est-à-dire que les uns montent tandis que les autres descendent et réciproquement ; il s'ensuit que si ces contrepoids moteurs ne sont pas remontés à la seconde voulue, de la quantité dont ils sont descendus, par le fait de la montée des contrepoids tendeurs de chaînes, les leviers basculants viennent rencontrer des contacts, dont les sonneries avertissent du dérangement.

Quant au contrôle du mouvement du tiroir, il est fait par un appareil à mercure basé sur le même principe que le régulateur de pression.

Il se compose d'un récipient en verre traversé verticalement en son centre par un tube également en verre qui descend très près du fond. Le récipient contient du mercure, et est en communication avec un tuyau de la canalisation, il s'ensuit qu'à l'ouverture du tiroir, le mercure monte dans le tube vertical ; si le tiroir ne se fermait pas, le mercure viendrait faire contact avec une pointe de platine en communication avec une batterie électrique. A la fermeture du tiroir, la pression diminuant graduellement, le mercure descend dans le tube, et monte dans le récipient ; si le tiroir ne s'ouvrait pas au moment voulu, le niveau de mercure dans ce récipient viendrait de même se mettre en contact avec une autre pointe de platine, et les sonneries électriques se feraient entendre.

Le complément naturel de ces appareils de contrôle est un double des différents appareils composant le centre horaire pneumatique, attendu qu'avertis par une sonnerie d'un dérangement quelconque dans la marche d'un de ces appareils, il est nécessaire de pouvoir instantanément substituer le mouvement d'un autre appareil à celui dérangé ; c'est ainsi, que le centre horaire est composé : de deux horloges centrales munies chacune de leur tiroir de distribution, de deux régulateurs de pression et de deux appareils contrôleurs de la marche du tiroir.

J'ai terminé, Messieurs, l'énumération et le fonctionnement des appareils nécessaires à un centre horaire pneumatique, et permettez-moi de vous communiquer maintenant le projet d'installation du réseau pneumatique dans Paris en entier, pour remplir les conditions du traité que la Compagnie a passé avec l'administration de la ville.

Paris sera divisé en neuf réseaux, semblables au réseau existant, dont le centre est rue Sainte-Anne, nº 7. L'air comprimé sera fourni à chacun d'eux par une seule usine qui sera située rue Saint-Fargeau, où la Compagnie vient d'acheter les terrains nécessaires. A cet effet une canalisation spéciale sera établie pour alimenter d'air comprimé les réservoirs haute pression de chacun des centres, elle sera formée de tubes de 80 millimètres de diamètre intérieur, communiquant avec ces reservoirs par des conduites de 40 millimètres de diamètre. Cette canalisation sera établie en double, pour pouvoir, à volonté, remplacer l'une par l'autre, sans pour cela arrêter l'alimentation.

Le synchronisme de chacun des centres sera obtenu par une petite canalisation communiquant avec une horloge à mouvement pneumatique placée

dans la salle des horloges du centre horaire existant actuellement, de telle façon qu'à ce centre on pourra voir l'heure de chacun des huit autres. Chacun des centres sera en outre relié par téléphone à l'usine Saint-Fargeau et au centre existant.

Je termine, Messieurs, en vous remerciant de la bienveillante attention avec laquelle vous avez écouté ma communication, et en priant ceux des membres de la Société qui voudraient avoir des explications plus détaillées, à bien vouloir se rendre à notre centre de réseau pneumatique, 7, rue Sainte-Anne, où ils me trouveront toujours à leur disposition pour les leur donner mieux que je n'ai pu le faire ici.

M. le Président. Voudriez-vous nous dire le nombre d'horloges que vous avez, à Paris, tant pour le service de la ville que pour les particuliers?

M. Martin. Dans le moment actuel, nous avons 14 candélabres horloges publiques, comportant 33 cadrans, et placés sur les boulevards, place du Théâtre-Français, rue des Tuileries, rue de la Chaussée-d'Antin, boulevard Haussmann, rue Montmartre, rue de Rivoli et rue Drouot. Nous avons 700 immeubles installés, dont les colonnes montantes sont faites, desservant déjà chacune un ou plusieurs abonnés et prêtes à desservir les nouveaux qui se présenteront. Dans ces 700 immeubles fonctionnent en chiffres ronds 3000 pendules. Actuellement le nombre des abonnés est de 1650 pour 3500 pendules. La canalisation générale pour le premier et le deuxième arrondissement est de 32 kilomètres en égouts, et de 60 à 65 kilomètres dans les immeubles.

M. le Président. Tout à l'heure, nous pourrons examiner les appareils qui sont ici et demander à M. Martin, qui veut bien se mettre à notre disposition, les explications nécessaires.

M. Piarron de Mondesir. Quel est le prix de l'abonnement?

M. Martin. Le prix de l'abonnement est de :

5 centimes par jour pour une pendule,
4 d° par jour pour la deuxième pendule,
3 d° d° pour la troisième et suivantes.

La Compagnie se charge des frais d'installation; l'abonné n'a à payer qu'à partir du jour où la pendule fonctionne. L'appareil est aux frais de la Compagnie. Si l'abonné a une horloge quelconque, tout en lui conservant son cadran et ses aiguilles, le mouvement existant est enlevé, rendu à son propriétaire et remplacé par le nôtre : le prix reste le même. La Compagnie donne même l'œil-de-bœuf ordinaire, soit en bois, soit en zinc bronzé à tout abonné qui en fait la demande.

Dans les hôtels où il y a 120 à 130 pendules, on s'arrange pour l'abonnement à l'amiable avec le propriétaire de l'hôtel.

M. Martin répondant à une question de M. Marché, vice-président :

Nous n'avons obtenu que le 19 juillet la signature de notre traité avec la ville; jusqu'à présent nous n'étions tolérés qu'à titre provisoire dans les

premier et deuxième arrondissements, c'est pourquoi notre usine actuelle n'est aussi que provisoire.

M. Dallot. Quelle est l'heure distribuée dans Paris?

M. Martin. C'est l'heure du temps moyen du méridien de Paris, telle qu'elle est donnée par l'Observatoire. Nous avons un contrôleur spécial qui va prendre l'heure tous les jours à midi à l'Observatoire.

M. Dallot. Est-ce qu'il n'y aurait pas une plus grande égalité d'heure en établissant une communication entre l'horloge étalon de la Compagnie et l'horloge de l'Observatoire, qui donne le temps moyen de façon à avoir instantanément chaque jour le réglage ?

M. Martin. La Compagnie ne veut pas se servir du système électrique, qui, chacun le sait, peut subir, les influences atmosphériques. Nous nous sommes toujours servis de notre contrôleur et nous avons une régularité parfaite. Les aiguilles ne marchent que par minute. De plus comme l'air comprimé ne se transporte pas à 5 kilomètres en une seconde, il en faut 4, l'aiguille qui marchera près du point de départ de la canalisation recevra l'impulsion plus tôt qu'une autre placée à l'extrémité de cette canalisation. Il y a, ainsi que je l'ai dit une différence de 4 secondes pour le réseau actuel.

Nous avançons donc l'horloge centrale de 2 secondes, et alors les horloges placées tout près avancent de 2 secondes, et celles qui sont éloignées retardent de 2 secondes. Nous ne tenons pas à l'heure mathématique par seconde; nous ne pouvons pas la donner, là, n'est pas notre but.

Ceux qui en ont besoin vont la chercher à l'Observatoire.

M. Dallot. Est-ce que les circonstances de température et de pression n'exercent pas une influence sur le fonctionnement des appareils?

M. Martin. Absolument aucune. Dans les égouts d'ailleurs, la température est à peu près constante dans l'hiver comme dans l'été.

M. le Président. Il n'y a pas de condensation ?

M. Martin. Elle est très minime; cependant il y en a lorsqu'une canalisation passe près des tuyaux de cuisine où la chaleur est constante.

Dans les égouts nous avons placé des siphons que nous avons ouverts au bout de trois mois de marche; il n'y venait que de l'air, mais il n'y venait pas d'eau.

M. Haubt. Ce qu'il arriverait s'il se produisait des fuites.

M. Martin. S'il se produit des fuites, les horloges s'arrêteront si elles sont desservies par le tuyau sur lequel la fuite existe. Mais comme notre réseau se compose de dix conduites partant de leur clarinette de distribution, si l'une est coupée, il arrive qu'une rue au plus se trouve arrêtée sans que pour cela les autres cessent de marcher. Nous en sommes avertis par une réclamation de l'un ou l'autre des abonnés du parcours. Nous nous rendons dans les maisons indiquées, ou dans l'égout, et des manomètres placés de distance en distance nous font toujours connaître de suite, la partie de canalisation où se trouve la fuite. Si elle est forte, c'est-

à-dire si le tuyau est rompu presque complètement, on ferme le robinet immédiatement placé avant la fuite, on en fait la réparation, et les pendules sont immédiatement et à la main remises à l'heure. Si la fuite existe dans une maison, les pendules seules de cette maison sont arrêtées.

Enfin, si elle se trouve chez un abonné, il n'y a que la pendule de cet abonné qui soit dérangée.

M. Hauet. Dans le tuyau y a-t-il des pertes de charge importantes?

M. Martin. Non; il nous suffit pour la bonne marche du système de 1 centième d'atmosphère; or, les conduites reçoivent 8 centièmes et même 9 centièmes d'atmosphère aux extrémités.

M. Peligot signale un fait original dont il a été témoin à diverses reprises. Ce fait vient à l'appui de l'opinion émise par M. Martin que les fuites peu importantes n'ont d'influence qu'à partir du point où elles existent et n'affectent pas le service dans la partie du tuyau qui les précède.

Trois pendules desservent dans un appartement trois pièces contiguës. L'une de ces pendules, *celle du milieu*, s'arrête de temps en temps sans que ni celle qui la précède ni même celle qui la suit cessent de fonctionner régulièrement. L'interruption du service de la pendule du milieu paraît provenir d'une fuite légère au branchement qui la dessert spécialement. Cette fuite n'affecte donc en rien le mouvement de l'air dans la canalisation générale de l'appartement.

M. Martin. L'observation de M. Peligot est parfaitement juste, elle vient à l'appui de ce que j'ai avancé précédemment, et montre bien qu'une fuite qui existe à la conduite d'air d'une pendule n'empêche pas les pendules voisines de marcher; je parle, bien entendu, de fuites légères, et non de ruptures complètes de tuyaux.

Je crois aussi devoir faire observer que nos mouvements pneumatiques sont bruts, ou en blanc, (comme on dit dans l'horlogerie), il peut exister dans les frottements des défectuosités qui passent inaperçues lors de la pose, et qui peuvent nuire à certains moments à la marche régulière. En tous cas, ces irrégularités ne dépendent nullement du système en général.

M. le Président. Avez-vous un prix du mètre courant de canalisation?

M. Martin. Les canalisations établies en principe sont en fer de 27 millimètres de diamètre. Je n'ai plus, présent à la mémoire, le chiffre exact; mais M. Garnier qui avait l'entreprise de la pose et qui est présent pourrait nous dire le prix.

M. Garnier. Cela revient à 3 fr. 50 environ le mètre courant.

M. Martin. C'est à peu près le prix de nos canalisations en plomb; nous avons remarqué qu'avec des tuyaux de ce métal, les pertes en frottements sont moins fortes, et que nous obtenons de meilleurs résultats qu'avec une conduite en fer de même diamètre, c'est pourquoi nous les adoptons maintenant.

M. Quéruel. Dans le sujet que M. Martin vient de traiter, il y a une ques-

tion intéressante : c'est la question de la transmission de l'air comprimé, Si j'ai bien compris, c'est vers le lac Saint-Fargeau, sur les hauteurs de Belleville, dans un quartier excentrique, qu'on se proposerait d'installer une usine. Je crois que c'est aller un peu loin ; il y a une très grande perte dans les transmetteurs d'air comprimé. Je puis citer à cet égard ce qui se passe pour la télégraphie pneumatique, il est des pertes de pressions qui se produisent même pour les faibles distances. J'ai observé aujourd'hui qu'il y avait une dépression de 10 centimètres de mercure pour un kilomètre et demi. Il y aura donc des pertes considérables quand il s'agira de venir de 10 ou 15 kilomètres au poste central pour y amener l'air comprimé dans une canalisation de 150 millimètres de diamètre. L'intérêt de la Compagnie est de ne pas s'éloigner de ce centre.

M. Martin. L'air comprimé qui viendra de l'usine centrale n'est pas destiné à être employé par tel ou tel réseau.

Il sera comprimé à l'usine dans des réservoirs à haute pression qui, par la canalisation spéciale, seront eux-mêmes en communication avec les réservoirs à haute pression de chacun des centres de réseau, il s'ensuit que ces derniers réservoirs seront les prolongements de ceux de l'usine, et que comme eux, ils auront la même pression d'air comprimé.

M. Quéruel. J'ai été mal compris ou je me suis mal exprimé : je n'ai pas fait allusion simplement au moment où le fluide s'écoule. J'insiste pour faire remarquer que dans le transport de l'air comprimé, il y a des pertes plus considérables qu'on ne suppose au premier abord, et que là vous aurez une perte constante, de 40 à 50 pour 100 de la puissance motrice.

M. Martin. L'équilibre s'établira toujours entre le point de production et le point de réception, je vous le certifie, puisque la production ne s'arrêtera pas.

M. Garnier. Quelle est la force de la machine pour le premier réseau.

M. Martin. Sa force est de douze chevaux ; il y a à peu près 32 kilomètres de canalisation dans les égouts. Nous dépensons actuellement 200 mètres cubes d'air comprimé à l'heure, au maximum.

M. Gaudry. J'ai eu occasion de voir l'installation de la rue Sainte-Anne, je ne saurais trop engager les personnes qui sont ici à aller visiter les appareils : cela offre un grand intérêt. Ce n'est pas encore achevé comme perfectionnement, mais, c'est très intéressant à suivre.

M. le Président remercie M. Martin de sa communication, et engage les membres présents à examiner les appareils exposés.

Les membres admis dans cette séance sont MM. Dufrenay, Ebel, Flores, Gadot et Néate.

Séance du 18 Novembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 novembre est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Durenne (Albert) et Jeanson.

Il est donné lecture d'une lettre de M. Bodin, en réponse à celle qui avait été adressée à la Société, par M. Eiffel.

Monsieur le Président,

La lettre que M. Eiffel vous a adressée à propos de la communication que j'ai eu l'honneur de faire à la Société des Ingénieurs civils le 5 août, et qui a été insérée dans le compte rendu de la séance du 7 octobre, n'est arrivée à ma connaissance que le 6 novembre.

Je n'accepte pas l'appréciation qu'il plait à M. Eiffel de produire à mon égard.

Si j'ai énoncé le prix de 965,000 fr. pour le pont du Douro, c'est parce qu'il résulte du prix de 59 fr. 20 par mètre carré donné dans la communication faite par M. Seyrig à la date du 7 décembre 1877 ; c'est donc à M. Seyrig que doivent s'adresser les rectifications de M. Eiffel ; j'avais d'ailleurs eu la précaution de dire que je croyais ce chiffre inférieur de 40 à 50 pour 100 à la réalité des choses ; M. Eiffel donne actuellement le prix de 1,340,000 fr., soit une augmentation de 40 pour 100 sur le chiffre tiré de la communi- de M. Seyrig ; j'ai donc estimé assez exactement le prix réel. Je fais remarquer d'ailleurs, qu'au moment où M. Seyrig a fait sa communication et s'est servi du prix de 59 fr. 20 par mètre carré, ou 965,000 fr. au total, pour établir (page 832) la supériorité, au point de vue économique, de ce type de pont, il était l'associé de M. Eiffel pour la construction de ce même pont du Douro ; qu'à ce nouveau point de vue, M. Eiffel ne doit encore s'en prendre qu'à lui-même ou à son ancien associé de l'inexactitude du chiffre que j'ai pris dans la communication de M. Seyrig, et j'en conclus, avec M. Eiffel, que le prix du Douro n'était pas de 59 fr. 20 par mètre carré, comme l'a dit M. Seyrig par erreur, mais 83 francs pour l'ensemble de l'ouvrage et

probablement 96 francs comme je l'ai dit pour la partie centrale, la seule en cause dans ma communication.

Quant aux erreurs que m'attribue M. Eiffel dans le prix des viaducs d'accès en maçonnerie, j'accepte très volontiers l'augmentation qu'on signale, mais elle doit résulter de ce fait que les viaducs d'accès ont une plus grande surface verticale que celle par moi prévue, et que j'avais d'ailleurs présentée seulement comme une appréciation; par conséquent la surface de la partie métallique doit diminuer d'autant, et son prix par mètre carré ne doit pas être modifié sensiblement par les corrections de M. Eiffel.

Je n'ai pas d'ailleurs critiqué le choix du système adopté pour le viaduc de Garabit, comme le dit M. Eiffel; je me suis borné à exposer et à prouver, j'espère, qu'à mon avis, il ne pouvait être admis, comme tendait à l'établir la communication de M. Seyrig, en date du 7 décembre 1877, que le type de pont du Douro, fût incontestablement le type le plus économique pour des ponts métalliques à grande portée, et je maintiens encore cette conclusion de ma communication en date du 5 août 1881, conclusion qui y était très nettement exposée quoi qu'en dise M. Eiffel, et qui n'est pas valablement contredite par les assertions, peu gracieuses dans la forme, de sa lettre du 7 octobre.

Je vous serais reconnaissant, Monsieur le Président, de vouloir bien donner lecture de cette lettre à la prochaine séance, et je vous prie d'agréer l'expression de ma respectueuse considération,

BODIN.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Boistel, sur le tramway électrique, système Siemens.

M. BOISTEL. Messieurs, je regrette qu'il ne m'ait pas été donné de vous parler plus tôt du tramway électrique établi et exploité à l'Exposition, par la maison Siemens frères, et qu'il me soit possible d'en parler seulement aujourd'hui, à l'avant-veille du jour où son service va être interrompu. Ma communication a perdu ainsi beaucoup de son actualité, et elle n'offrirait guère plus qu'un intérêt rétrospectif, si je n'étais persuadé que, d'ici à quelques mois, vous pourrez voir, dans Paris, des spécimens de tramways électriques installés sur une plus grande échelle. Nous avons, en effet, saisi M. le préfet de la Seine d'une demande d'autorisation pour continuer les expériences que nous avons faites; nous sommes sortis de la période d'essai; mais, comme nous n'avons fait l'essai que sur une ligne de 500 mètres environ de longueur, on peut se demander ce qui arriverait si la distance à parcourir était plus longue. Des expériences de ce genre ne peuvent pas se faire dans une usine : il faut donc s'installer sur une voie publique.

Nous avons demandé 5 ou 6 kilomètres au préfet de la Seine, sur un point

qui reste à préciser. Cela pourrait être la ligne des boulevards; toutefois, des considérations spéciales s'opposent à ce qu'on interrompe la perspective des boulevards, au moins à l'intérieur de Paris. Mais sur certains boulevards extérieurs, il y a moins d'inconvénient, et nous obtiendrons, je crois, l'autorisation de faire des expériences plus durables.

Il vous a été parlé plusieurs fois, dans les séances précédentes, de la transmission de la force par l'électricité. Vous savez donc sur quoi est basée cette application de l'électricité. On vous a décrit également les machines électriques, Siemens et Gramme : je n'ai donc pas besoin non plus de vous rappeler les principes sur lesquels elles sont fondées. Vous savez que le transport de la force à distance par l'électricité, dont la locomotion électrique n'est qu'une application spéciale, est basé sur la réversibilité des machines dynamo-électriques; c'est-à-dire que si vous prenez une machine dynamo-électrique, et que vous lui appliquiez une courroie de transmission pour lui communiquer la force produite par une chute d'eau, par exemple, ou un moteur quelconque, cette machine, se mettant à tourner, développe un courant électrique dont l'intensité et la tension sont fonction de la vitesse de rotation de la machine. Si vous prenez une seconde machine, et que vous lui envoyiez un courant produit par une pile, ou par une autre machine semblable, cette seconde machine se met immédiatement à tourner, et sa vitesse de rotation atteint, et, souvent dépasse, la vitesse de rotation de la machine initiale. C'est là le principe de la transmission de la force par l'électricité; l'exemple de la locomotion électrique n'en est qu'un cas spécial.

Dans une application ordinaire de transmission de force par l'électricité, autre que la traction électrique, le problème est simple : il s'agit uniquement d'avoir une première machine électrique, actionnée par le moteur, et de relier cette machine par deux câbles conducteurs, suffisamment isolés, à une seconde machine, laquelle se met à tourner, et met en mouvement l'outil, ou l'appareil, qu'on veut faire marcher.

L'électricité est facile à transporter; elle est plus facile à transporter que l'eau et que le gaz. La transmission de l'électricité à distance est beaucoup plus simple que la transmission de l'eau, par exemple, ou celle de l'air comprimé.

Mais le cas se complique, lorsqu'il s'agit d'actionner une voiture, une locomotive, ou un remorqueur quelconque. Dans ce cas, le point d'application change constamment de place : il faut, néanmoins, pour marcher, avoir une relation permanente entre la machine primaire qui produit le courant, et la machine secondaire qui l'utilise.

Lorsque nous avons fait la première application, nous avons songé, naturellement, à utiliser les rails comme conducteurs; c'est en effet un cas très favorable, puisque les rails sont des parties métalliques, et que, quoique le fer soit beaucoup moins conducteur que le cuivre, leur grande section rachète leur défaut de conductibilité.

Les premiers spécimens de chemins de fer électriques que nous avons

établis étaient, pour ainsi dire, des joujoux. Ils étaient basés sur ce principe de conduire l'électricité par les rails.

Le premier chemin de fer électrique que nous avons installé l'a été à l'Exposition de Berlin, en 1879. Il était établi, à cette Exposition, sur un parterre de gazon, où il n'y avait pas d'autres circulations. Il avait 300 mètres de longueur, l'écartement des rails était de 60 centimètres. Une petite locomotive, qui figure à l'Exposition, et qui était simplement une machine dynamo-électrique montée sur quatre roues, remorquait trois wagonnets, trois petits trucks, contenant chacun six personnes, trois de chaque côté, de sorte que la machine remorquait dix-huit personnes. Le courant était envoyé par les rails. On avait adjoint aux deux rails formant la voie un rail central par lequel le courant était envoyé de la machine primaire, et les deux rails latéraux, qui étaient les rails porteurs, servaient à ramener le courant à cette machine.

Le rail central était porté sur des traverses en bois, et c'était par là que le courant était envoyé par la machine primaire à la machine mue ; le courant, après avoir agi sur la machine mue, revenait par les roues et les rails latéraux à la machine primaire.

Cette première application a donné d'excellents résultats.

En 1880, ce chemin de fer électrique a été transporté à l'Exposition de Bruxelles, puis ensuite à Düsseldorf; il est maintenant au Palais de Cristal à Londres ; il a continué à marcher parfaitement.

Comme je vous le disais, ce chemin de fer était construit, à Berlin, dans un parterre où il n'y avait pas de circulation : il n'y avait donc pas les mêmes dangers, ni les mêmes inconvénients qui se sont présentés ici à l'Exposition. Ces dangers résultent de ce que, lorsque les rails latéraux et le rail central servent de conducteurs, ou bien lorsqu'on se sert des deux rails, convenablement isolés l'un de l'autre ; sur des traverses en bois, il y a l'inconvénient tout naturel, que si l'on établit un contact volontairement, ou accidentellement, entre les rails, la machine s'arrête. Et de plus, si on ferme ainsi le circuit, si, par exemple, on pose les deux pieds sur les deux rails, ou si l'on fait traverser la voie par des chevaux, on reçoit, dans certains cas, des secousses assez violentes, et cela peut être dangereux ou désagréable, en outre que cela peut arrêter momentanément le mouvement de la voiture et produire des étincelles sur la machine primaire et la détériorer.

Lorsque nous avons voulu établir ce tramway à l'Exposition d'Électricité, nous avons cherché longtemps quel serait le parcours. Nous aurions désiré un parcours plus long que celui que nous avons, mais c'était difficile à obtenir : le Conseil municipal, et les ingénieurs de la ville, n'étant pas encore fixés sur la réussite de l'expérience, ne voulaient pas nous accorder un trajet plus long. Nous avons été limités aux abords de l'Exposition, et nous avons dû nous mettre sur l'avenue sur laquelle notre tramway circule en ce moment. Nous avons contourné la place de la Concorde pour avoir un développement plus considérable que si nous avions suivi une ligne recti-

ligne en face la façade et du palais de l'Industrie. Nous avons, dès le début, renoncé à avoir les rails servant de deux conducteurs, à cause de l'inconvénient que je vous ai signalé, dans le cas où on aurait réuni ces deux rails, accidentellement ou volontairement.

Autre difficulté : cette voie étant établie dans une avenue très fréquentée, nous étions obligés d'adopter une voie qui ne gênât pas la circulation des voitures. Nous avons résolu de suite de nous servir des deux rails comme d'un seul conducteur, et d'installer en l'air un autre conducteur, pour nous mettre à l'abri des espiègleries des gamins de Paris, qui se seraient amusés à tirer des étincelles entre les deux rails. Nous avons donc établi un conducteur élevé, et nous avons renoncé à avoir les deux rails isolés l'un de l'autre. Nous avons ainsi établi une voie aérienne, de façon à amener le courant de la machine primaire à la machine mue, et à le renvoyer à la machine primaire par les deux rails.

Nous avons fait de longs tâtonnements pour arriver à établir cette voie aérienne. Nous avions des difficultés assez grandes, car il faut que la voiture qui voyage soit toujours en contact avec la machine primaire ; il faut que le courant soit constamment donné au point qu'elle occupe.

L'idée la plus simple est de relier la machine mue à la machine primaire au moyen d'un chariot de contact qui glisse le long du conducteur aérien. Nous avons pensé d'abord au fil télégraphique ; mais nous avons trouvé que cela n'avait pas assez de stabilité. Nous avons songé ensuite à mettre deux fils télégraphiques avec un petit chariot à quatre roues, qui se mouvait le long de cette voie aérienne. Nous n'avons pas eu de résultats satisfaisants ; le petit chariot avait un certain poids ; les fils de fer n'avaient pas une tension égale, le chariot se déversait, et il a déraillé plusieurs fois. Dans une usine il n'y a pas de danger ; mais à l'Exposition, sur une voie publique, il pouvait y avoir de graves inconvénients et en résulter des accidents.

Nous avons essayé ensuite de superposer les deux fils, et de faire courir un système de chariot composé de deux roues prises entre les deux fils de fer, mais là encore il n'y avait pas égalité de tension entre les deux fils : l'un s'allongeait plus que l'autre, ces fils subissant l'influence de la température, et le chariot déraillait.

Après ces essais infructueux, nous avons songé au moyen que nous avons adopté à l'Exposition et qui nous a donné une satisfaction complète.

Le conducteur aérien consiste en un tube de cuivre, ou plutôt de laiton, de 22 millimètres de diamètre et d'un millimètre d'épaisseur ; il est fendu à sa partie inférieure sur 7 à 8 millimètres de largeur, suivant une génératrice. Dans ce tube circule un petit chariot cylindrique, en laiton également, d'un diamètre plus petit que le diamètre du tube. Ce cylindre porte deux petites tringles verticales qui passent par la fente du tube. Ces deux tringles sont reliées à leur partie inférieure par une entretoise, et portent vers leur milieu une autre entretoise terminée à l'extrémité par deux douilles dans

lesquelles pénètrent les deux tringles. Cette traverse porte à son tour l'axe d'un galet, et l'entretoise qui porte l'axe est rappelée contre la surface inférieure du tube par deux ressorts à boudin. Cette partie du tube est donc pour ainsi dire laminée entre le petit cylindre intérieur qui glisse sur sa partie inférieure et le galet qui roule dessous ; de sorte que nous avons un contact parfait de glissement à l'intérieur et de roulement à l'extérieur. On voit rarement une étincelle jaillir entre le conducteur et le chariot. Nous avons obtenu ainsi un résultat supérieur à celui que nous attendions, car nous avions craint un moment qu'il yeût de l'usure, et qu'on fût obligé de remplacer le conducteur. Il n'en a rien été, et nous sommes trèsétonnés qu'avec le très grand nombre de voyages que la voiture a faits, il n'y ait pas eu plus d'usure. Nous avons usé deux chariots seulement ; la seconde paire marche depuis un mois, et elle marcherait peut-être encore un mois si l'Exposition n'était pas terminée. Il y a là une solution très durable de ce système de conducteur aérien. Le courant est produit par une machine primaire qui est établie dans le palais de l'Exposition, derrière la grosse machine de la maison Carels, de Gand, à côté des chaudières de M. de Naeyer. Cette machine est à 30 mètres de l'entrée de l'Exposition; elle est actionnée par une machine verticale de Ville-Châtel, de Bruxelles, de 20 chevaux à peu près. La machine électrique produit un courant énergique, et l'envoie par des câbles qui circulent dans la charpente métallique du palais pour arriver à l'axe de la porte par laquelle sort le tramway. Les câbles sont réunis aux deux conducteurs en laiton.

Nous avons encore rencontré un autre inconvénient. Nous avions, dès le début, songé à utiliser les rails comme fil de retour, et à nous servir, comme fil d'aller, d'un seul de ces tubes que j'ai dessinés au tableau. Mais il y avait un obstacle, que nous aurions pu prévoir, mais auquel nous n'avions pas songé. Les petits chemins de fer que nous avions faits jusqu'alors se trouvaient dans d'autres conditions : nous avions installé notre voie dans un endroit où il n'y avait pas de circulation, de sorte que nous avions pu mettre les rails en saillie au-dessus du sol.

Dans ces conditions-là, la surface du rail est toujours propre; au bout de quelques jours de roulement la surface est polie, et la poussière ou la boue n'y restent pas : elles sont balayées par le roulement de la voiture, et l'on a une surface polie qui établit un contact parfait entre les bandages des roues et le rail.

C'est ce système que nous avons appliqué à Berlin, ou du moins à Lichterfelde. Vous avez vu à l'Exposition un spécimen des voitures que nous employons pour faire le service sur cette ligne de Lichterfelde. Mise en service au mois de mai de cette année, cette ligne a un développement de 2,600 mètres de longueur et côtoie la ligne du chemin de fer de Berlin à Francfort : elle quitte cette ligne au bout de quelques centaines de mètres. pour se diriger à droite et aboutir à l'école des Cadets de Berlin, semblable à notre école de Saint-Cyr. Ce chemin de fer électrique dessert l'école des Cadets. Nous avons un service constant et normal de trains qui corres-

pondent avec les trains de Berlin. Dans ce chemin de fer, comme il est installé sur le côté d'une voie de chemin de fer ordinaire, et traverse des champs et des propriétés qui ne sont pas fréquentés, on a placé les rails au-dessus du sol, sauf aux passages à niveau, au nombre de 5 ou 6. Les gamins s'amusent à tirer des étincelles entre les rails, et des chevaux ont reçu quelquefois une décharge électrique en traversant les passages à niveau. Là nous avons pu établir les rails au-dessus du sol ; tandis que dans l'avenue où nous avons établi le tramway de l'Exposition, nous avons dû enfouir les rails dans le sol pour que les voitures pussent circuler. Dans nos premiers essais, nous avons échoué complètement, parce que la surface du rail enfoui dans la chaussée macadamisée, couverte de boue, n'est jamais propre, et cela empêche tout contact entre les rails et le bandage des roues. Nous avons dû renoncer complètement à ce système de communication ; au bout de quelques mètres de parcours, la voiture s'arrêtait, et elle était dans son cours trajet suivie d'une traînée d'étincelles produites par les ruptures de contact causées par le gravier ou la boue qui recouvrait les rails. Nous avons donc dû, après coup, mettre un second conducteur, isoler les deux conducteurs l'un de l'autre par une planchette en bois, les recouvrir par une autre planchette, et garnir le tout d'une enveloppe de calicot enduit de gomme laque, de façon à isoler le système.

Cette application dans laquelle nous avons été obligés de doubler la voie après coup, ne présente pas à l'œil un aspect satisfaisant. Cela a été fait rapidement et a présenté pas mal de difficultés. Les fils de fer de suspension se sont trouvés trop faibles : ils étaient calculés pour un tube; quand nous avons mis deux tubes, il a fallu les doubler; puis nous avons adjoint un câble conducteur, de sorte que cette installation n'est pas flatteuse, ni gracieuse à l'œil. Mais dans une installation définitive, nous ferions disparaître une partie de cet attirail. Jusqu'à ce jour, nous n'avons pas eu un centime de réparation, et pas une minute d'arrêt. Le courant arrive de la machine primaire par l'un des tubes, se communique par l'olive intérieure, et descend de là, par l'un des deux câbles attachés au bras horizontal dont est munie la voiture, à la machine électrique placée sous la caisse de la voiture. Ce bras horizontal est un peu long parce que nous avons dû nous maintenir à 60 centimètres du trottoir, ce qui nous gênait un peu. Les arbres gênaient également; il a fallu nous éloigner du trottoir, et mettre à la voiture ce bras, de façon à placer les poteaux sur le trottoir à une certaine distance des arbres, et la voie à une certaine distance du trottoir; de là une installation disgracieuse.

Le courant, donc, arrive d'un de ces chariots par un des deux câbles qui pénètrent dans le bras, et descend dans l'intérieur de la voiture, à la machine qui actionne les roues, et qui est une machine dynamo-électrique un peu plus petite que la machine primaire. Cette machine dynamo-électrique est placée sous la caisse du tramway, entre les deux essieux. Elle est horizontale; son axe est prolongé extérieurement au bâti de la

machine, et porte un pignon denté, qui entraîne, par l'intermédiaire d'une chaîne sans fin, d'une chaîne de Galle, une roue dentée calée sur l'un des essieux.

Nous avions, dès le début, commandé les deux essieux par une chaîne à l'avant et une à l'arrière; mais l'une tirait quand l'autre ne tirait pas, et nous avons dû supprimer l'entraînement d'un des essieux; nous avons donc marché tout le temps avec un seul essieu mené par la machine électrique.

La voiture sous laquelle est placée la machine électrique est une voiture ordinaire des tramways Nord de Paris. Nous avons construit dans notre usine de Paris, rue Picot, toute la partie métallique, c'est-à-dire le châssis entier, avec le système mécanique, et la Compagnie des tramways Nord nous a prêté une caisse de voiture. Cette voiture a $7^m,70$ de long, $2^m,25$ de large et $3^m,65$ de haut jusqu'aux balustrades. La caisse vide pèse 5,500 kilogrammes; elle peut contenir quarante voyageurs à 70 kilogr. en moyenne, ce qui fait un poids total de 9,000 kilogrammes en pleine charge. Le nombre de quarante voyageurs peut être dépassé. Dernièrement, nous avons pu transporter soixante-sept voyageurs; c'étaient les élèves de l'École des ponts et chaussées; nous les avons tous transportés. Il serait possible de transporter des poids bien plus considérables encore.

Nous avons eu l'idée d'atteler une autre voiture et de faire un petit train, mais des difficultés pratiques nous ont empêchés de donner suite à cette idée qui d'ailleurs ne présente pas grand intérêt.

En dehors de ces conditions où le problème est présenté dans sa simplicité, il y a certaines précautions nécessaires à prendre en vue d'assurer la régularité du service et le bon fonctionnement prolongé de la machine. Lorsqu'on interrompt un courant, il se produit des étincelles de rupture qui peuvent amener la combustion de l'enveloppe des fils, et mettre la machine hors de service. Il a fallu parer à cet inconvénient, attendu qu'à chaque arrivée à une station, il faut couper soudainement le courant. Pour cela, nous avons disposé au-dessous de la plate-forme de la voiture une série de résistances en fil de maillechort, qui a une résistance quatre fois égale à celle du fer. Ce fil est enroulé en spirales, de manière à présenter une grande longueur sous un petit volume. Cette série de fils de maillechort est disposée entre le chariot contact et la machine; le courant passe donc dans ces résistances avant d'arriver à la machine. Nous avons un commutateur qui permet d'enlever tout ou partie de ces résistances, dont le total est de 8 unités, au moyen d'une manivelle; nous en enlevons une partie d'abord, puis, au milieu du parcours, lorsque nous pouvons marcher à une vitesse normale, elles sont enlevées presque toutes.

Il y a, en dehors de cela, sur la voiture, un frein qui n'est pas un frein électrique : c'est un frein mécanique mû par une vis. Il y aurait avantage à se servir d'un frein électrique; en cas d'arrêt instantané, on pourrait, par un simple mouvement de manivelle, couper le courant moteur et l'en-

voyer dans une bobine qui actionnerait le frein : on obtiendrait ainsi, d'un seul mouvement, la suppression immédiate de la cause motrice et l'action sur le frein. On aurait là une action énergique, trop énergique peut-être, car elle produirait un choc. La longueur de la voie est de 497^m,35, 500 mètres en chiffres ronds. Bien que le parcours soit très court, nous avons rencontré beaucoup de difficultés que nous ne rencontrerons certainement pas dans des parcours plus longs. Ces difficultés provenaient de l'entrée dans l'Exposition et de la fontaine qui obstrue la façade du palais; il a fallu faire une courbe et une contre-courbe de façon à arriver dans l'axe de la porte. Nous sommes aussi obligés de contourner l'angle de la place de la Concorde, où nous avons une courbe de 55 mètres de rayon, et, à l'entrée de l'Exposition, nous avons une courbe de 27 mètres de rayon et une contre-courbe de 21 mètres. Nous avons en courbes des rampes assez prononcées. A l'entrée, avec cette courbe de 27 mètres de rayon, nous avons une rampe de 21 millimètres; et, à la Concorde, avec la courbe de 55 mètres, nous avons une rampe de 11 millimètres. Vous voyez qu'il y a là des difficultés assez grandes.

La machine à vapeur est de 20 chevaux, et, comme le rendement à distance est de 50 pour 100, nous pouvons disposer de 10 chevaux sur la machine du tramway. La machine primaire fait 500 tours par minute et celle de la voiture fait 465 tours. Le diamètre des roues est de 0^m,78, et avec le rapport des roues dentées qui est de 1 à 4, l'essieu moteur fait 116 tours par minute, cela nous donne une vitesse *moyenne* de 4^m,70 par seconde, soit environ 17 kilomètres à l'heure. En supposant un coefficient de traction de 1 1/2 pour 100, il faut donc un effort de 135 kilogrammes, ce qui, à la vitesse de 4^m,70 par seconde représente un travail de 8 à 4 chevaux, exigeant à la machine primaire environ 17 chevaux.

Je ne vois pas autre chose à vous dire sur la disposition de la voiture; si vous avez quelques observations à me faire, j'y répondrai, si je puis, avec précision. Ainsi que vous avez pu vous en convaincre, le travail que nous avons effectué, a été très régulier; nous avons transporté 86,000 voyageurs en deux mois et demi; à l'heure qu'il est, nous avons fait près de 4,000 voyages, ce qui suppose 2,000 kilomètres. C'est un service fatigant pour une voiture comme celle-là. Ce travail effectué est intéressant au point de vue de la durée des conducteurs.

Cette installation provisoire n'est pas faite comme le sera l'installation définitive sur un parcours des boulevards extérieurs de Paris, par exemple. Là, nous aurons un tramway aérien, monté sur colonnes; il y a un modèle de tramway de ce genre étudié par M. Chrétien, destiné à être établi sur les boulevards intérieurs ou extérieurs de Paris.

Nous poursuivons le but d'accord avec M. Chrétien, et la Compagnie des omnibus. La nécessité de ce tramway électrique sur colonnes se fait sentir plus impérieusement de jour en jour; la circulation devient impossible à certaines heures de la journée, sur les boulevards : il faut aug-

menter les moyens de communication, non pas à la surface du sol, car plus on mettra de voitures en circulation, plus on apportera d'obstacles, et on encombrera les voies plus encore qu'elles ne le sont, il faut donc créer un second plan de circulation.

Il y a deux solutions : une souterraine et une aérienne. Les projets proposés pour un chemin de fer souterrain n'ont pas, je crois, grande chance d'aboutir. En dehors des difficultés sérieuses qui se présentent, à cause des fondations profondes et solides des maisons, à cause des canalisations d'eau, de gaz, d'égouts que nous avons à Paris, et il y a là de grosses difficultés, je crois que ces chemins de fer seraient d'un séjour moins agréable que le chemin de fer aérien.

Je crois que le chemin de fer aérien présente un problème plus facile à résoudre. On dira peut-être : c'est disgracieux, c'est incommode! — Mais le service rendu sera tel que ces inconvénients disparaîtront bien vite. Les dépenses considérables d'établissement dans bien des parties du réseau ne seront pas couvertes; mais, dès que la population parisienne aura goûté et apprécié les avantages de ce mode de locomotion, elle y prendra goût, et on en établira ailleurs qui rapporteront. Je crois que, pour se trouver dans de bonnes conditions, il faut établir la voie à $4^{m},50$ au-dessus du sol, de façon à ne pas gêner la circulation et à laisser passer les voitures les plus hautes.

Je crois que ce système de tramway aérien, mû par l'électricité, est appelé à rendre de grands services.

M. Rey demande quel est le prix de revient de cette traction, et autant que possible, de l'exploitation faite pendant deux mois sur une échelle assez grande ?

M. Boistel. Il n'est pas facile de se rendre compte du prix total d'exploitation, mais il est facile de calculer le charbon dépensé. Dans le cas actuel, nous n'avons pas pu le faire, puisque nous avons pris la force sur un générateur commun à plusieurs machines; mais nous savons la force que nous consommons, et nous pouvons établir la dépense en charbon.

Les frais de direction, mécaniciens et conducteurs, sont moindres que dans la traction par chevaux. Je ne parle pas du tramway actuel, qui a l'inconvénient d'être établi sur une voie très fréquentée par les passants et les voitures, ce qui exige une attention constante de la part du conducteur. Mais si cette voie était établie aériennement, de façon à ne pas avoir cette difficulté, le conducteur serait beaucoup plus libre de ses mouvements; par conséquent, dans ces conditions-là, on peut avoir un homme qu'on paye moins qu'un mécanicien ordinaire. Le rôle de mécanicien dans ce cas se réduit à peu de chose : c'est un manœuvre, en quelque sorte. Les frais de personnel seront donc réduits. Quant aux frais de traction, de charbon, proprement dits, vous voyez que pour 50 personnes il faut à peu près deux chevaux : il est facile de calculer ce que cela coûterait. Nous avons fait un devis, sur la demande de la Compagnie des tramways Nord, pour

arriver à remplacer sa traction mécanique avec laquelle elle exploite la ligne de l'Étoile à Courbevoie. La traction à vapeur revient à 0 fr. 75 par kilomètre et par voiture. Dans cette exploitation de la ligne de Courbevoie, le prix est même certainement supérieur encore. Nous avons fait un devis qui nous donne 0 fr. 32 par voiture et par kilomètre. Il y a là une grande économie sur la traction actuelle par machines à vapeur.

La traction des tramways par chevaux coûte 0 fr. 52 à 0 fr. 55; par conséquent il y aurait encore une économie importante sur cette traction.

Il y a encore un côté intéressant à considérer dans le chemin de fer électrique, c'est que c'est le seul mode qu'on puisse appliquer dans les chemins de fer aériens : il n'y a aucune production de fumée, ni d'escarbilles, ni de bruit; c'est donc préférable de beaucoup à la machine à vapeur.

Il y a encore un autre gros avantage pour Paris à remplacer les chevaux par la traction mécanique, au point de vue des odeurs de Paris. Dans les rapports très intéressants qui ont été faits sur cette question, il a été reconnu que ces odeurs de Paris sont dues en grande partie aux déjections des chevaux qui souillent la voie et sont emportées par le vent; de là ces odeurs désagréables. Si on arrivait à remplacer un certain nombre de lignes d'omnibus par la traction mécanique, on éviterait par là un gros ennui, et cela milite en faveur de la traction mécanique et de la traction électrique.

M. le Président demande s'il a été fait quelques expériences sur la déclivité maxima qu'on pourrait atteindre?

M. Boistel. Oui, c'est facile à faire, le cas est le même que pour la traction par locomotives. Il y a là une question d'adhérence; dans certaines conditions d'adhérence, avec des voitures lourdes, nous pouvons monter des déclivités assez fortes.

Mais, il y a un autre avantage avec la traction électrique, c'est qu'on peut coupler les machines, avoir trois voitures par exemple, munies chacune d'une machine électrique. En palier, une seule fonctionnerait; et, lorsqu'on arriverait sur une rampe, on pourrait faire marcher les trois machines.

Il y a encore un autre moyen, c'est le système de touage, avec un câble qu'on peut fixer aux extrémités de la voie, et qui en s'enroulant et se déroulant au moyen d'une machine électrique fait avancer la voiture. C'est un moyen de remorquer sur les fortes rampes.

M. le Président. Avez-vous essayé, comme on l'a essayé, il y a une vingtaine d'années, d'appliquer l'électricité aux jantes des roues pour augmenter l'adhérence?

M. Boistel. Nous n'en avons pas fait l'application en grand; nous l'avons fait pour un chemin de fer postal, que nous n'avons pas eu le temps d'installer. Dans la section française il y avait un spécimen de chemin de fer avec voie de $0^m,15$, destiné à faire le transport des paquets et des lettres;

placé dans un tube, il serait utile pour la poste, pour relier les gares à la poste centrale. Nous devions installer ce petit chemin de fer, mais nous n'avons pas été prêts, et nous n'avons à l'Exposition qu'un modèle de machine et de wagon. Comme la machine est extrêmement légère, et que nous n'aurions pas eu l'adhérence voulue pour remonter certaines rampes, nous avions pensé à appliquer l'électricité pour opérer l'adhérence des roues.

M. Rey demande si l'on a appliqué l'action du courant à la manœuvre du frein.

M. Boistel répond que l'on trouverait certainement un avantage à utiliser l'action du courant pour serrer le frein, mais qu'il sera toujours plus prudent de conserver, en même temps, le serrage à la main, pour le cas où le courant serait interrompu.

M. Couard demande si ces interruptions se produisent fréquemment.

M. Boistel répond que le fait ne s'est produit, pour le tramway de l'Exposition, que dans le commencement, parce qu'il est arrivé que les glissières de la machine à vapeur chauffaient. Pour un service public, il serait facile de prendre les précautions nécessaires pour éviter ces interruptions.

M. Marché voudrait savoir si dans le projet de chemin de fer aérien, on a supposé un câble conducteur, comme celui du tramway de l'Exposition.

M. Boistel répond que, dans ce cas, les rails étant parfaitement isolés constitueront d'excellents conducteurs, qui serviront non seulement au service du chemin de fer, mais encore à la distribution de l'énergie électrique, à droite et à gauche de la ligne pour l'éclairage, etc. En isolant les colonnes par des plaques de verre ou de caoutchouc, on pourrait même utiliser les poutres comme conducteurs et arriver ainsi à distribuer l'électricité à domicile.

M. Couard demande si plusieurs trains pourront marcher simultanément sur la ligne.

M. Boistel répond, que l'on peut faire circuler plusieurs voitures sur la ligne en même temps; elles sont en dérivation sur le même courant et il n'y a pas de perte d'électricité. En supposant une machine primaire de 100 chevaux de force à l'origine, et trois machines électro-motrices, elles rendront chacune le tiers de 50 chevaux, ou 15 à 16 chevaux. On voit à l'Exposition des exemples de machines marchant en dérivation sur un même courant.

M. Boistel passe ensuite à la description sommaire de l'ascenseur électrique, installé tout récemment au palais de l'Exposition, et qui est fait en vue de remplacer les ascenseurs hydrauliques. C'est un chemin de fer vertical avec une crémaillère centrale entourée d'une gaîne. Cette gaîne porte à sa partie inférieure une machine dynamo-électrique, qui commande

deux pignons dentés par l'intermédiaire d'une vis sans fin. Dès que le courant arrive, il met en mouvement la machine électrique, et les pignons dentés se développent en montant le long de la crémaillère en entraînant la gaîne et la cage de l'ascenseur.

Ce système a l'avantage de ne pas exiger de piston, et de ne pas consommer la masse d'eau nécessaire aux ascenseurs hydrauliques. Il se prête particulièrement bien aux applications dans les usines et aux transmissions à distance.

M. Mékarski demande si dans le cas où plusieurs machines sont en dérivation sur le même courant, et ou un certain nombre d'entre elles s'arrêtent subitement, la vitesse des autres machines n'est pas sensiblement augmentée. Dans ce cas, la vitesse ne serait pas régulière, et il pourrait se produire à certains moments des accélérations dangereuses.

M. Boistel répond, qu'au moyen des systèmes excessivement simples dont un a été indiqué par M. Marcel Deprez, on peut éviter l'accroissement de vitesse des moteurs placés sur un même circuit. On a déjà fait marcher trois voitures simultanément sur la ligne de Berlin.

M. Mékarski croit qu'avec le nombre considérable de voitures que nécessitera le trafic de la ligne dans Paris, et la force qui sera nécessaire à les mettre en mouvement, il pourra se produire des accélérations dangereuses au moment où les voitures seront très rapprochées par suite des irrégularités inhérentes au fonctionnement d'un semblable service.

M. Boistel fait remarquer que sur la ligne aérienne on pourra facilement atteindre une vitesse de 20 kilomètres à l'heure; cela suppose, pour un trajet de 8 kilomètres, un parcours de moins d'une demi-heure, et quinze voitures partant toutes les deux minutes. Les voitures de l'Exposition absorbaient 135 kilogrammètres en palier; pour le tramway, dans Paris, où les voitures seront beaucoup plus petites, sans impériales, contenant 25 voyageurs seulement, et circulant sur des rails rapprochés, on peut compter sur deux chevaux 1/2 seulement, et cinq chevaux pour la machine primaire, soit pour 15 voitures 75 chevaux.

M. Mékarski pense que le démarrage, qui exige une dépense instantanée et très considérable de force, pourra influencer la vitesse des autres machines en circulation plus encore peut-être que l'arrêt.

M. Boistel répond que le démarrage est très facile, parce que la machine arrêtée est à l'état statique, et qu'à ce moment là elle accumule la force; d'ailleurs il ne prétend pas apporter la solution exacte et complète du problème, mais seulement constater les résultats obtenus et indiquer les projets futurs.

M. Mékarski demande à faire remarquer, à propos du coût de la traction électrique de 0 fr. 32 indiqué par M. Boistel, qu'il y a des systèmes de traction mécanique qui arrivent au même chiffre.

M. Boistel ne conteste pas ce résultat.

M. Fichet désire savoir quelle est la tension nécessaire à donner au courant pour produire la traction sur une ligne d'une certaine étendue.

M. Boistel répond qu'à l'Exposition, la tension était d'environ 45 volts, et il pense qu'avec 100 volts on pourrait résoudre le problème dans Paris.

M. Fichet demande s'il n'y aurait pas à craindre des accidents de personnes avec des conducteurs aussi chargés.

M. Boistel dit que l'on peut toujours s'arranger pour que les voyageurs ne puissent pas toucher les deux rails à la fois.

La question n'est pas encore complètement étudiée, mais on peut, par exemple, faire descendre les voyageurs toujours du même côté, de sorte qu'ils n'aient jamais à traverser la voie.

M. Fichet demande si la pluie ou l'humidité n'occasionneront pas une tension plus grande.

M. Boistel ne croit pas que cet accroissement de tension puisse jamais être suffisant pour que la tension devienne dangereuse. La neige serait un inconvénient plus grave, auquel on pourra du reste facilement remédier dans une voie aérienne.

M. Hamers fait observer que les stations du chemin de fer aérien seront très rapprochées; c'est pourquoi M. Chrétien a projeté une sorte de *block-system*, au moyen duquel on empêchera chaque voiture de dépasser une station avant que la voiture précédente soit arrivée à la station prochaine. C'est peut-être ce qu'il y aura de mieux pour éviter les collisions.

M. Quéruel se demande si la hauteur de 4m,60 au-dessus de la voie indiquée pour le chemin de fer aérien sera suffisante.

M. Boistel répond, que l'on pourrait, au moyen des rampes admises, relever le viaduc à la traversée des rues, mais que la hauteur de 4m,60 indiquée est le minimum imposé par les ponts et chaussées.

M. le Président remercie M. Boistel de sa communication, et l'invite à tenir la Société au courant de la construction du chemin électrique, que la compagnie qu'il représente, doit construire dans l'intérieur de Paris.

L'ordre du jour appelle la communication de MM. Rey et Vallot, sur l'établissement des ressorts à lames employés dans le matériel des chemins de fer.

M. Rey rappelle que la théorie des ressorts à lames a été faite, depuis longtemps, par M. Phillips, dans un remarquable mémoire, bien connu des ingénieurs, et dans lequel la question a été traitée au point de vue général d'un ressort quelconque, composé de feuilles de sections différentes, la longueur des étagements variant d'une feuille à l'autre.

L'auteur est arrivé à des formules complexes qui ne sont que très difficilement maniables, mais qui se simplifient beaucoup quand on fait certaines hypothèses telles que l'égalité des étagements, l'égalité de largeur

et d'épaisseur des feuilles, et l'amincissement des extrémités suivant une loi déterminée.

M. Phillips a donné, dans son mémoire, les formules simplifiées qui se rapportent à ce cas particulier. Mais en pratique, il est rare que les hypothèses relatives à l'égalité des étagements et à l'amincissement des extrémités de toutes les feuilles soient réalisées.

Presque jamais les extrémités de la maîtresse-feuille ne sont amincies, et presque toujours celle-ci est soutenue par une ou plusieurs autres feuilles de même longueur qu'elle, et dont une seule est amincie à ses extrémités.

Les formules simplifiées de M. Phillips ne sont donc plus rigoureusement applicables, dans ce cas, et comme il est impossible de songer à se servir de la formule générale (qui d'ailleurs ne tient pas compte des amincissements) on éprouve quelques difficultés à déterminer, avec précision, les dimensions d'un ressort devant satisfaire à des conditions données, quand il s'écarte sensiblement des hypothèses faites par M. Phillips.

D'autre part M. Phillips a étudié les ressorts considérés isolément, et indépendamment de la manière dont les efforts qu'ils ont à supporter leur sont transmis.

Or, pratiquement, les ressorts sont reliés aux châssis des véhicules de différentes manières qui influent sensiblement sur les efforts.

M. Rey a pu constater qu'avec certaines dispositions d'attache, l'allongement auquel était soumise la maîtresse-feuille d'un ressort de suspension était augmenté de 15 pour 100.

Il y a donc intérêt, suivant lui, à faire intervenir dans le calcul des ressorts, le mode d'attache des extrémités dont il a étudié l'influence dans une note insérée dans le *Bulletin de la Société*, en 1876.

MM. Rey et Vallot, dans leur mémoire, ont repris les formules fondamentales de M. Phillips, en tenant compte des données nouvelles relatives à la non-égalité de tous les étagements et au non-amincissement de toutes les feuilles et ils en ont extrait des formules rigoureuses applicables au cas général d'un ressort quelconque dont toutes les feuilles auraient la même section. Puis, partant du travail de M. Rey, sur l'influence du mode d'attache, ils ont groupé les différentes formules, relatives à ce sujet, de façon à les encadrer dans l'étude du ressort qu'on a à établir.

Les formules rigoureuses sont d'une application assez longue, et assez souvent les résultats auxquels on arrive sont incompatibles avec certaines exigences de construction. Il faut alors recommencer le travail, et, comme les formules sont assez compliquées, on ne voit pas facilement quels sont les éléments qu'il faut faire varier, ni dans quel sens il faut le faire. Pour éviter les tâtonnements, MM. Rey et Vallot ont établi des formules approximatives, très simples, qui permettent de faire rapidement une étude préliminaire, les formules rigoureuses servant à vérifier le ressort ainsi déterminé approximativement.

Pour faciliter les applications, les auteurs du mémoire ont donné des

exemples de calculs des principaux cas qui peuvent se présenter, dans la pratique, tant pour les ressorts de suspension que pour ceux de choc et de traction.

Cette partie de la note est précédée de la justification des formules qu'ils ont établies, et elle est suivie d'un appendice contenant certains développements et certains renseignements qui n'ont pas trouvé place dans le corps de l'ouvrage.

Cette note sera insérée *in extenso* dans le prochain bulletin.

M. le Président remercie M. Rey de sa communication. Les formules qu'il présente avec M. Vallot, abrègent, notablement, le travail qu'exige la résolution complète des formules de M. Philipps, et elles permettent d'arriver rapidement à des résultats très suffisants dans la pratique.

La séance est levée à dix heures un quart.

Les membres admis comme sociétaires dans cette séance sont :

MM. Cabanellas, Defrance, Flamant, Gérard, Monprofit, Paliés et Rosevelt.
Membre associé, M. Rose.

CHRONIQUE

SOMMAIRE. — Développement de la mécanique industrielle depuis cinquante ans. — Détente et réglage des machines à vapeur. — Éclairage des phares. — Chemin de fer de Vera-Cruz à Mexico. — Précautions dans l'emploi de la lumière électrique. — Société américaine des ingénieurs civils.

Le développement de la mécanique industrielle depuis cinquante ans. — Notre éminent collègue, sir Frederick Bramwell, vice-président de l'*Institution of civil Engineers* et président du Conseil de la *Society of Arts*, a lu à la dernière réunion de l'Association Britannique, à York, une communication sur les développements de la mécanique, pendant les cinquante dernières années, dont nous résumons les passages les plus remarquables.

Je commence, dit sir Frederick Bramwell, par la *Machine à vapeur employée comme moteur pour les fabriques*. En 1831, c'était généralement la machine à balancier à condensation à laquelle fournissaient la vapeur les chaudières du type qu'on appelait à tombereau (*waggon boilers*), type choisi plutôt pour la facilité du ramonage nécessité par les amas de suie que produisait une combustion imparfaite, que pour sa résistance à la pression de la vapeur. Il en résulte que la pression effective dans ces machines ne dépassait pas de 1/5 à 1/3 d'atmosphère. Le piston marchait rarement à plus de $1^m,25$ par seconde et toutes ces conditions réunies conduisaient à l'emploi de cylindres très volumineux. On dépensait beaucoup de combustible, souvent de 3.25 à 4.5 kilogrammes par cheval brut développé sur le piston. Les machines étaient réglées par des pendules coniques à marche lente et calculés seulement pour vaincre l'effort correspondant à la levée des boules, peu efficaces en réalité.

Les parties de l'appareil n'étaient reliées entre elles que par les fondations. Il fallait, à cause de la faible vitesse, des volants très pesants pour réaliser une rotation suffisamment régulière pour la pratique, et on était conduit pour la même raison à employer de lourdes transmissions à engrenages pour donner aux appareils à faire mouvoir un nombre de tours suffisant.

En 1881, les chaudières sont presque toujours cylindriques, souvent avec un ou deux foyers intérieurs. C'est à sir William Fairbairn, président de l'Association Britanniqne, en 1861, qu'on doit l'application des nervures circulaires qui préviennent le danger d'écrasement que présentent, sans cette précaution, ces foyers.

Le principe a été appliqué depuis, sous bien des formes. Ce genre de chaudières peut supporter des pressions de 3 à 6 atmosphères effectives. La vitesse du piston est actuellement de 2 mètres et plus par seconde, de sorte que, même avec une grande détente, on obtient une pression moyenne suffisante pour que le travail réalisé avec un cylindre de dimensions données soit beaucoup plus considérable qu'autrefois. Le nombre de tours va souvent de 60 à 200 par minute et on obtient une plus grande régularité avec des volants plus légers. Les machines sont plus compactes et ne dépendent plus des fondations; dans bien des cas on opère la condensation par surface, ou bien, lorsqu'on n'a pas assez d'eau, dans des condenseurs à évaporation, appareils qui malheureusement sont peu connus et par conséquent peu employés bien que fort anciens déjà. Il est très ordinaire d'entendre à la demande : Pourquoi ne vous servez-vous pas d'une machine à condensation ? — Répondre : Je n'ai pas assez d'eau. Ce serait une réponse péremptoire s'il n'existait que des condenseurs à injection ou à surface du système ordinaire, mais elle n'a aucune valeur en présence d'un appareil à évaporation avec lequel, dès qu'il y a assez d'eau pour alimenter la chaudière, il y en a suffisamment pour condenser et pour obtenir un bon vide.

Cet appareil consiste tout simplement en une série de tubes à l'intérieur desquels la vapeur se condense tandis que de l'eau froide tombe en pluie sur la surface extérieure. Cette eau s'évapore en nuage, en quantité à peu près égale à celle qui se condense et qui retourne à la chaudière pour remplacer l'eau transformée en vapeur. On n'a donc besoin que d'une quantité d'eau égale à celle qui correspond sensiblement à l'alimentation de la chaudière. Bien que ce système de condensation soit en usage depuis trente ou quarante ans, on voit encore des machines fonctionnant sans condensation, ou employant de l'eau des distributions des villes, coûtant très cher, au détriment des particuliers qui en ont besoin pour les usages domestiques; ou bien, on voit de grands industriels recourir à d'énormes réservoirs pour recueillir l'eau d'injection qui y circule constamment et s'y échauffe à la longue assez pour devenir impropre à cet usage. On emploie actuellement comme régulateurs des appareils à grande vitesse qui ont assez de puissance pour soulever non seulement leurs boules qui sont légères, mais encore de forts contrepoids, et qui sont d'un fonctionnement très efficace.

Navigation à vapeur. — En 1831, il y avait déjà beaucoup de bateaux à roues naviguant sur les rivières d'Angleterre et à travers la Manche. Mais il n'y avait pas de vapeurs pour la navigation océanique proprement dite et pour des services militaires. Les chaudières de ces navires n'étaient pas faites pour résister à la pression de la vapeur. C'étaient de simples caisses dont, comme on l'a dit souvent, le fond avait autant à supporter de la charge de l'eau à froid, que le haut n'avait à éprouver en marche de la pression de la vapeur.

Ces chaudières fonctionnaient à des pressions de 1/5 à 1/3 d'atmosphère en

sus de celle de l'atmosphère ; les machines marchaient lentement et développaient peu de puissance par rapport à leurs dimensions ; elles dépensaient beaucoup, aussi considérait-on de ce chef comme impossible qu'un navire pût porter assez de charbon pour toute la traversée de l'Océan et ce ne fut qu'en 1838, que le *Sirius* et le *Great-Western* effectuèrent cette traversée, qui fut la première ayant pour objet un service régulier de voyageurs.

En 1831, on alimentait les chaudières à l'eau salée, les coques des navires étaient en bois et la vitesse ne dépassait pas huit à neuf nœuds.

En 1881, les navires à vapeur sont invariablement en fer ou en acier et ce dernier supplantera probablement avant longtemps l'autre. Il est bien entendu qu'on désigne ici par le mot d'acier, un métal ductile dont le fer est l'élément principal et qui est obtenu par fusion par opposition au métal obtenu par puddlage. Les machines marines sont actuellement alimentées de vapeur par des chaudières tubulaires à enveloppes cylindriques, de très grandes dimensions, faites avec le plus grand soin et pouvant supporter des pressions de 5 à 6 atmosphères. On a trouvé plus avantageux de détendre la vapeur dans deux ou plusieurs cylindres successifs que dans un seul. Il n'y a cependant pas en théorie de raison pour que la perte par refroidissement due à la détente dans un seul cylindre ne puisse être suffisamment combattue par l'emploi de l'enveloppe de vapeur. Les roues à aubes ont, à quelques cas près, entièrement disparu et l'hélice est universellement usitée.

Avec ce propulseur la machine tourne beaucoup plus vite et on peut réaliser des vitesses de piston de 3 à 4 mètres par seconde, ce qui, combiné avec l'emploi de pressions élevées, permet d'obtenir des puissances considérables de machines de faibles dimensions relatives. On réalise couramment des vitesses de 15 nœuds en service et on les dépasse aux essais.

On accepte aujourd'hui les vapeurs comme navires de guerre, soit cuirassés, soit non cuirassés; dans ce dernier cas, une vitesse considérable et un armement formidable les rendent de dangereux adversaires, même pour les navires les mieux protégés par leur armure.

On adapte maintenant aux machines marines des régulateurs tellement sensibles qu'ils semblent avoir le don de prévision et régler la marche de l'appareil en vue de la circonstance qui va se produire plutôt que de celle qui se produit. Ceci peut sembler exagéré, mais c'est un fait.

Un bon régulateur marin ne doit pas attendre que l'arrière du navire soit hors de l'eau pour empêcher la machine de s'emporter ; il doit pour ainsi dire agir d'avance. On peut citer des navires avec des machines sans modérateurs retenus par le mauvais temps à l'entrée de la Tamise, alors que d'autres, pourvus de bons régulateurs, avaient le temps d'aller à Newcastle et d'en revenir, en trouvant encore les premiers attendant le changement de temps.

La condensation s'effectue presque exclusivement par surface et les chaudières sont alimentées à l'eau distillée au lieu de l'être à l'eau salée, ce qui, outre la nécessité des extractions, impliquait le danger des dépôts. On peut

faire observer ici que dans quelques cas, faute d'avoir eu la précaution de laisser former une pellicule protectrice sur les surfaces métalliques, on a eu des corrosions avec de l'eau distillée provenant de condenseurs ayant des tubes de cuivre non étamés, ou par suite de la présence d'acides gras venant de la décomposition des graisses de la machine; mais on emploie actuellement des moyens efficaces contre ces accidents.

Avant de quitter le sujet des machines marines, sir F. Bramwell désire appeler l'attention sur deux types fort intéressants. L'un est le bateau torpille ou embarcation à grande vitesse de M. Thornycroft.

Avec une grande vitesse de piston, une pression de 8 atmosphères et des dispositions de détail très ingénieuses, le constructeur a réussi à obtenir une machine assez légère pour ne pas peser plus de 25 kilogrammes par cheval indiqué, y compris, l'eau dans la chaudière, l'arbre d'hélice et l'hélice elle-même [1].

Pour avoir assez de vapeur avec une chaudière des dimensions très restreintes, il a fallu recourir au tirage forcé, au moyen d'un ventilateur; ce système, tel qu'il est employé avec chambre de chauffe fermée, a l'avantage accessoire, mais précieux dans certains cas, de maintenir cette chambre relativement fraîche.

L'autre type est une machine faite pour réaliser la plus faible dépense possible. C'est la machine Perkins dont la chaudière formée de tubes contenus, ainsi que le foyer, dans une enveloppe, fournit de la vapeur à 25 kilogrammes de pression; l'enveloppe arrête assez la chaleur pour qu'on puisse y poser la main. Des essais faits par M. Bramwell et par M. Rich, de la maison Easton et Anderson, essais qui ont duré douze heures [2], ont donné une consommation de combustible par cheval indiqué et par heure, y compris l'allumage, de 0 kil. 81. Cette consommation a été déterminée par une méthode qu'il serait à désirer de voir employer régulièrement dans les essais de machines marines. On n'a pas pris comme diviseur la puissance donnée par le diagramme le plus favorable de la journée, mais on a déduit le travail des diagrammes relevés en marche; et pour cela, à partir du moment où on n'a plus alimenté la grille et que la pression baissait, on a pris des diagrammes d'abord toutes les demi-heures, puis tous les quarts d'heure et à la fin toutes les cinq minutes; la puissance totalisée de tous les diagrammes a servi à obtenir le travail indiqué.

Avec la méthode ordinaire de commencer l'essai avec un feu dans un certain état et de le terminer au bout de six heures avec le feu autant que possible dans le même état, on a trouvé une consommation de $0^k,75$ par cheval indiqué et par heure. C'est incontestablement un résultat remarquable. On a fait allusion, dans cette assemblée, à l'emploi de l'éther pour utiliser le calorique emporté au condenseur, et on a rappelé les essais faits par Du Tremblay dans cet ordre d'idées. Sir F. Bramwell a eu occasion de

1. Voir Chronique de septembre 1881, page 215.
2. Voir Chronique d'avril 1881, page 469.

voir autrefois les essais de cet ingénieur; ce système n'a jamais été employé en Angleterre, à cause des droits excessifs sur l'éther. On a employé le chloroforme et on a proposé le bi-sulfure de carbone. En France, l'éther a été employé sur une grande échelle. Sir F. Bramwell a vu à Marseille quatre grands vapeurs munis de machines de ce système. Il a relevé des diagrammes, les résultats étaient bons [1], mais on a renoncé à l'éther par suite de difficultés pratiques.

Il y avait de grands dangers d'explosion par suite des fuites et il fallait se conduire dans les chambres des machines comme dans les galeries de mines à grisou, avoir des lampes projetant leur lumière à travers des glaces et des lampes de Davy. Toutefois on peut dire que la machine à éther a été une remarquable expérience et que le nom de Du Tremblay mérite de passer à la postérité.

On peut rappeler un type de machine marine plus ancien, celui d'Howard appliqué pendant un temps assez prolongé à un steamer nommé *la Vesta* et faisant le service de Londres à Ramsgate. La chaudière était formée d'un vase renfermant un bain d'un amalgame de plomb et de mercure chauffé par un foyer et sur lequel une pompe projetait la quantité d'eau nécessaire pour former la vapeur destinée à fournir la course de la machine.

Les machines de la *Vesta* avaient été construites par M. Penn pour M. Howard; ce dernier ne paraît pas avoir été récompensé de ses efforts très méritants pour l'amélioration de la machine marine.

On employait dans cet appareil un moyen peu connu pour alimenter la chaudière avec de l'eau douce, l'eau de mer aurait en effet déposé sur le bain métallique des matières solides dont l'effet eût été nuisible. On condensait par injection, mais l'eau de condensation était ensuite refroidie par sa circulation dans des tubes extérieurs à la coque de manière à servir indéfiniment [2].

La chaudière était chauffée par un feu de coke et le tirage produit par un ventilateur, disposition d'ailleurs qui n'avait rien d'indispensable pour ce système.

(*A suivre*). (*Journal of The Society of Arts*).

Détente et réglage des machines à vapeur. — M. le professeur Thurston, membre de notre Société, a lu devant l'*American Society of Mechanical Engineers*, à la réunion à Altoona, une note contenant des aperçus fort intéressants et dont on trouvera ci-dessous le résumé.

Il y a pour chaque condition de marche d'une machine à vapeur un cer-

1. Voir Chronique de juin 1881, page 666.

2. Ce système qu'on a appelé condensation *monhydrique* paraît avoir été proposé pour la première fois par Olivier Evans, au commencement du siècle. Il a été appliqué par notre collègue, M. B. Normand, vers 1861, à plusieurs machines-marines, entre autres à celles de l'*Albert*, du port de Dunkerque, qui a longtemps fonctionné avec ce système (voir *Mémoires et Comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils*, année 1873, page 863).

tain degré d'expansion qui correspond à la meilleure utilisation de la vapeur, c'est-à-dire à la plus faible dépense par unité de puissance développée, mais il est bien difficile de déterminer cette valeur de l'expansion, parce que bien des causes accessoires interviennent, pour troubler les résultats. L'expérience a prouvé que les limites dans lesquelles on devait faire varier l'expansion sont beaucoup plus rapprochées qu'on ne l'aurait supposé généralement et ne doivent pas s'écarter beaucoup d'une certaine valeur pour chaque pression initiale de la vapeur.

La variation de puissance d'une machine s'effectue ordinairement au moyen d'un régulateur qui agit sur un papillon pour étrangler plus ou moins la vapeur ou sur le mécanisme de détente variable pour fermer plus ou moins tôt l'admission de la vapeur au cylindre, suivant la résistance que la machine a à surmonter. Ce dernier système est très sensible et très convenable pour des variations modérées. Ainsi l'auteur a observé le nombre de tours d'une machine Corliss faisant environ soixante révolutions par minute, avec de la vapeur à 7 atmosphères à la chaudière, et ce nombre ne variait pas de plus de 2, soit que la machine marchât complètement à vide ou qu'elle développât 35 ou 150 chevaux.

Toutefois comme le degré d'expansion est lié en quelque sorte à la pression initiale, quel est le moyen à employer pour faire varier la puissance sans réduire sensiblement l'effet utile ?

On ne peut songer à étrangler la vapeur. Mais on peut agir sur l'échappement. Augmenter la contre-pression serait un moyen efficace, mais coûteux, car on accroîtrait ainsi la chaleur qui passe au dehors.

Le vrai moyen est de régler la puissance de la machine par la variation de la compression ; c'est du reste ce qui a lieu dans une certaine mesure avec la coulisse de Stephenson, la réduction de course du tiroir opérée avec cet appareil, réduit, en même temps que l'admission, la durée de l'échappement et augmente la période de compression, ce qui donne aux diagrammes d'indicateur relevés sur les locomotives une forme caractéristique bien connue. On a fréquemment constaté la douceur avec laquelle ces machines fonctionnent dans ces conditions et la consommation de vapeur est assez faible pour que la simple réduction de l'admission ne suffise pas à expliquer l'économie réalisée.

L'auteur a pu vérifier ce fait depuis longtemps (1861 à 1863), par des expériences sur des machines marines et il a été conduit à attribuer à la compression un effet de réchauffage des passages et parois des cylindres et pistons, efficace pour prévenir en partie les condensations intérieures qui sont la grande cause de perte dans les machines à vapeur.

On peut dire que le meilleur degré de compression est sensiblement le même que celui de l'expansion et que l'exagération de la compression est en tout cas moins préjudiciable que la trop grande variation dans l'admission en dehors du degré le plus avantageux de cette dernière. Si la compression augmente, la surface du diagramme d'indicateur diminue et le travail de la machine également.

On a donc une méthode efficace de régler les machines par laquelle l'excès de travail non utile se transforme en chaleur qui est restituée à la vapeur travaillant sur le piston. Il suffira donc d'installer la machine avec une détente fixe et de faire agir le régulateur sur le tiroir d'échappement de manière à régler le point de fermeture de ce dernier. Si on craint l'effet de l'eau restant dans le cylindre, on disposera des soupapes de purge convenables; d'ailleurs avec les conduits d'échappement placés sous les cylindres, ce danger n'est pas à redouter.

Dans des machines d'épuisement ou d'élévation d'eau à faible vitesse, on a quelquefois donné assez de compression pour que la pression de la vapeur comprimée dépasse la pression à la chaudière, et la courbe de compression coupe la ligne de pression à l'admission avant la fin de la course. L'auteur a fréquemment marché avec des locomotives à des crans de détente assez réduits pour que le diagramme d'indicateur ne présentât plus que l'apparence d'une bande étroite entre les courbes de détente et de compression; on ne remarque dans les deux cas, ni chocs, ni irrégularité dans la marche; il semble donc que la méthode proposée ne présente pas de difficultés sérieuses pour sa mise en pratique.

Il est possible que l'idée ne soit pas nouvelle, mais elle n'a pas, au moins à la connaissance de l'auteur, été mise a exécution jusqu'ici. Si la méthode proposée ne pouvait être employée convenablement, on pourrait tout au moins combiner un mécanisme qui ferait varier la compression avec l'admission comme avec la coulisse, mais sans l'étranglement que produit cette dernière.

L'économie à réaliser dépend évidemment des conditions de marche des machines ; si celles-ci ont une charge à peu près constante, il n'y aura pas d'avantage sensible, mais, si la machine a des dimensions considérables pour le travail à effectuer ou si celui-ci est très irrégulier, comme dans les laminoirs, on obtiendra une économie importante, et le bénéfice de la réduction des condensations intérieures aura une valeur qui n'est pas négligeable.

Éclairage des phares. — Il est digne de remarque qu'alors que l'emploi de la lumière électrique prend de l'extension en France pour l'éclairage des phares, il semble en être tout autrement de l'autre côté de la Manche. Aux États-Unis il n'y a encore aucun phare éclairé à l'électricité.

M. Allard, inspecteur général des ponts et chaussées, dans un mémoire inséré l'année dernière aux *Annales des ponts et chaussées*, (voir comptes rendus de décembre 1880 du *Bulletin* de la Société, page 659), avait indiqué que les frais d'entretien d'un phare électrique sont le double en Angleterre de ce qu'ils sont en France et que les frais d'établissement dans les deux pays sont au moins dans le même rapport; l'auteur déclarait d'ailleurs qu'il ne se chargeait pas d'expliquer ces différences énormes.

Quoi qu'il en soit, les Anglais auraient, paraît-il, d'autres raisons que la

dépense pour ne pas propager l'emploi de la lumière électrique dans les phares, si on s'en rapporte à un mémoire lu par M. John Wigham à la dernière réunion de l'Association Britannique, à York, sous le titre de : « Le gaz comparé à la lumière électrique pour l'éclairage des phares. L'auteur rappelle qu'en 1874, on fit à Londres, à la tour des signaux du Parlement, des expériences officielles comparatives entre un de ses appareils d'éclairage au gaz pour phares placé dans un appareil dioptrique de premier ordre à feu fixe du « *Trinity-House* » et une lampe électrique disposée au foyer d'un appareil lenticulaire de MM. Chance, et qu'il fût reconnu que, si la lumière électrique était, par beau temps, bien plus éclatante que le gaz, en revanche elle était moins brillante par les temps brumeux et éteinte complètement par le brouillard, alors que son rival était encore bien visible.

En 1879, une discussion eut lieu à l'*Institution of civil Engineers*, à la suite d'une communication de M. Douglass et la difficulté de pénétration du brouillard par la lumière électrique a été reconnue par beaucoup de membres ; la lumière électrique produite par une température excessive a un très grand éclat et possède la blancheur de la lumière solaire, ce qui est dû à la grande proportion des rayons les plus refrangibles et les plus absorbables. Il en résulte qu'une lampe électrique qui a un pouvoir éclairant, mesuré au photomètre, infiniment plus considérable qu'une lampe à huile peut, en temps de brouillard, n'avoir qu'une supériorité très faible ou même n'en avoir aucune.

M. Stevenson, dont la compétence est si connue, considère l'éclat éblouissant de la lumière électrique comme désavantageux pour la navigation.

En somme, l'éclairage électrique avait été installé en Angleterre sur quatre phares.

A la suite des plaintes reçues au sujet de l'éclat de la lumière et après constatation que le nombre des sinistres, loin d'avoir diminué depuis l'installation de la lumière électrique, avait augmenté comparativement aux années précédentes, l'administration de *Trinity House* a décidé que l'éclairage à l'huile serait rétabli au phare de Dungeness. Des rapports ont été produits à l'administration, indiquant qu'il était impossible de gouverner directement sur le phare de Foreland par beau temps, mais qu'en revanche, par le brouillard, on avait pu apercevoir l'éclairage au gaz des jetées et des postes de signaux avant le feu électrique. Quant au dernier phare installé, celui du cap Lizard, il y a eu des plaintes sur ses nombreux cas d'extinction.

M. Wigham conclut, en recommandant l'éclairage au gaz déjà installé sur plusieurs phares des côtes d'Irlande, entre autres à celui de Howth-Bailey.

D'après M. Vernon Harcourt, un appareil au gaz, donnant un pouvoir éclairant de 5,000 bougies, perce beaucoup mieux le brouillard qu'une lumière électrique de 16,500 bougies.

Chemin de fer de Vera-Cruz à Mexico. — M. Coleman Sellers a fait à l'*Engineer's Club* de Philadelphie, une communication sur le chemin de fer de Vera-Cruz à Mexico, qui renferme des détails très intéressants sur ce remarquable ouvrage.

Ce chemin de fer a été concédé pour la première fois en 1837, et il l'a été plusieurs fois depuis sans qu'il y eut de fait plus de trois ou quatre kilomètres vers 1849. Enfin les travaux furent poussés activement pendant l'occupation française et la ligne entière fut ouverte le 1er janvier 1873, par le président Lerdo; il s'était passé trente ans, quarante présidences et un empire entre la première concession et l'achèvement. Il est difficile de savoir ce que ce chemin a coûté, mais au 30 juin 1874, le gouvernement mexicain, pour sa part, avait déjà payé plus de 60 millions de francs. Le trafic est considérable, mais les revenus nets médiocres, ce qui tient, dit l'auteur américain, à ce que le gouvernement néglige parfois de payer les subventions auxquelles il s'est engagé. En effet, les revenus publics proviennent presqu'en entier des droits de douanes, et cela non seulement pour le gouvernement central, mais également pour les États et les municipalités; or, lorsqu'on accorde une subvention pour un travail, on délègue généralement pour cette subvention les droits de douane de tel ou tel port, mais si les revenus sont insuffisants, ou si, ce qui est arrivé plus d'une fois, pendant les nombreuses guerres civiles, ils sont touchés par un gouvernement *de facto* quelconque, la subvention reste en souffrance.

Le chemin de fer de Vera-Cruz à Mexico est à une seule voie; il a 416 kilomètres de longueur; c'est un beau travail. Il traverse d'abord les terres chaudes et plates du littoral, puis s'élève à 1,200 mètres dans les fertiles vallées intermédiaires, il franchit ensuite les *Combres*, et descend un peu sur un vaste plateau pour remonter ensuite jusqu'à Mexico, situé à 2,300 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le point culminant de la ligne est à 2,500 mètres; le tracé franchit une hauteur de 1,980 mètres sur 96 kilomètres et à un endroit 600 mètres sur 24 kilomètres, C'est sur ces pentes que se sont présentés les travaux les plus difficiles. Il n'y a pas de longs tunnels, mais il y en a dix sept ou dix-huit dont quelques-uns sur des inclinaisons considérables et l'un d'eux est à la fois incliné et en courbe en S. Il y a également une immense courbe en fer à cheval dont le sommet est formé par un pont métallique en pente et en courbe de 106 mètres de rayon. Tous les ponts sont en métal, généralement à poutres pleines en treillis posés sur des colonnes en fonte supportées elles-mêmes sur des soubassements en maçonnerie. Ils ont été faits en Angleterre.

Le chemin est à simple voie, les rails en fer de la voie primitive sont actuellement, sauf une soixantaine de kilomètres du côté de Vera-Cruz, remplacés partout par des rails d'acier.

Dans ce dernier port la ligne se termine par une jetée en fer de 200 mètres, formée de poutres en tôle portées sur des pieux à vis en fonte espacés de 4m,50 dans un sens, et de 15 mètres dans l'autre. Cette jetée est garnie de cinq grues hydrauliques Armstrong dont quatre de 2 tonnes et la dernière

de 20 tonnes. L'accumulateur est formé d'un piston de $0^m,35$ de diamètre portant une charge de 50 tonnes de sable et pouvant par conséquent exercer une pression de 50 kilogrammes par centimètre carré. Le port de Vera-Cruz ne vaut pas mieux qu'une rade ouverte et est très dangereux par les vents du Nord qui soufflent fréquemment. Les opérations de chargement et de déchargement se font au moyen d'allèges, et presque toutes au vieux môle en pierre n'ayant que des engins rudimentaires, mais à l'entrée duquel se trouve la douane par laquelle tout ce qui arrive et tout ce qui part, hommes ou objets, doit passer indistinctement. Une association, qui a jusqu'ici le monopole de l'entreprise des chargements et déchargements, empêche l'emploi du nouveau matériel : c'est à peine si la compagnie du chemin de fer peut s'en servir pour la manutention des objets de grand poids.

Le matériel roulant présente une grande variété ; sur quarante-cinq machines, il y a à peu près vingt et un types provenant de constructeurs américains, anglais et belges ; on y voit des machines *Consolidation* de Baldwin ; sur les fortes rampes on emploie des machines Fairlie à douze roues de $1^m,05$ et à cylindres de $0^m,375$ sur $0^m,55$ ou $0^m,400$ sur $0^m.500$ et quelques-unes à roues de $1^m,15$ et cylindres de $0^m,400$ sur $0^m,55$,

Les gens du chemin de fer disent que ces machines ont beaucoup de flexibilité et une grande puissance de traction, mais ils avouent qu'elles ont été à peu près complètement reconstruites pendant les quelques années qu'elles ont été en service. Elles sont conduites par quatre hommes, un mécanicien presque toujours américain (auquel la compagnie, en outre d'une solde de 7 dollars (35 francs) par jour, fournit une maison et un domestique), un chauffeur et deux hommes pour passer le bois de chauffage.

Il y a trois classes de voitures ; les secondes et troisièmes sont du type américain, grossièrement construites et sans garnitures. Les premières sont du type anglais avec sièges rembourrés et recouverts en cuir. Tous les trains portent des voyageurs et des marchandises et se terminent invariablement par une voiture contenant 30 hommes d'infanterie pour la garde du train. Les métaux précieux sont à l'avant, de sorte que les brigands doivent commencer par détacher le wagon des soldats pour pouvoir piller le train à leur aise.

A chaque station se trouve un corps de cavalerie formant une sorte de garde rurale assez bien montée et armée, payée par le département de l'intérieur.

On ne marche pas vite, car les trains mettent à peu près dix-huit heures pour faire le trajet de 416 kilomètres de la côte à Mexico. Les coureurs indiens de Montezuma mettaient vingt-quatre heures, dit l'histoire, et les courriers de la poste faisaient souvent le chemin en vingt heures.

On va juste assez vite pour ne pas craindre la concurrence des transports par terre et les prix sont rémunérateurs, si on considère que les premières classes payent 32 dollars (160 francs), pour le voyage double, les marchan-

dises de la dernière classe 50 dollars (250 francs) la tonne de Vera-Cruz à Mexico, et celles de la première classe à peu près le double.

Comme presque tous les objets importés au Mexique passent par la ligne et que Mexico compte plus de 200,000 habitants, ce chemin de fer a un trafic considérable et assuré.

Un produit indigène qui donne lieu à un transport très important est le *pulque*, jus fermenté du maguey, qui est la boisson nationale ; il résulte de ce transport seul, un produit moyen de 5,000 francs par jour pour le chemin de fer.

Bien que la construction de la ligne ait duré fort longtemps, on peut dire que les travaux proprement dits ont été exécutés en trente mois, de février 1865 à juin 1866, puis de septembre 1871 à janvier 1873. Si on considère les difficultés nombreuses de l'entreprise, on admirera l'énergie et l'habileté qui ont dû être déployées pour la mener aussi rapidement à bonne fin.

Précautions dans l'emploi de l'éclairage électrique. — A la suite de quelques incendies arrivés à New-York et dont on a attribué l'origine à l'éclairage électrique, le Comité des assureurs s'est préoccupé de la question des risques qui pouvaient résulter du nouvel éclairage et il a chargé de l'étude une commission ; celle-ci a déposé ces jours derniers un rapport à la suite duquel a été rédigé un programme des conditions qui seraient imposées aux assurés pour l'usage de la lumière électrique :

1° Les conducteurs devront avoir un pouvoir conducteur double de celui qui est nécessaire pour le nombre de foyers à alimenter ;

2° Les fils doivent être complètement isolés et recouverts d'une double enveloppe d'une matière approuvée par le Comité ;

3° Tous les fils devront être fixés par un système approuvé et placés les uns des autres à 62 millimètres au moins pour les lumières à incandescence et à 100 millimètres pour les lumières à arc, ainsi qu'à 100 millimètres de toute pièce de métal ou d'autre matière conductrice et disposés de manière à pouvoir être examinés facilement et complètement par les inspecteurs ;

Lorsqu'il sera nécessaire de faire traverser aux fils des cloisons ou des planchers, on devra les préserver du contact de pièces métalliques ou autres conductrices par des dispositions approuvées par le Comité :

4° Les lumières à arc devront être protégées par des globes de verre fermés à la partie inférieure pour prévenir la chute d'étincelles ou particules de carbone incandescent et, dans les endroits, tels que vitrines, ateliers, etc., où il peut y avoir des matières inflammables, il sera disposé dans le haut du globe une cheminée avec une grille pour arrêter les étincelles. Les lumières nues sont absolument prohibées. Les parties conductrices des supports des crayons seront isolées et recouvertes de la même manière que les fils ;

5° Si l'électricité est amenée dans un édifice depuis le dehors, un inter-

rupteur de courant sera placé au point où le conducteur pénètre dans l'édifice, et le courant sera arrêté lorsque l'éclairage ne fonctionnera pas.

Les demandes pour autorisation d'employer la lumière électrique devront être accompagnées de l'indication du nombre et du système des foyers, une estimation en unités connues de la quantité d'électricité nécessaire, un échantillon du fil (1 mètre au moins), qui doit être employé et un certificat émanant d'un électricien et indiquant la capacité conductrice de ce fil.

On devra désigner l'endroit où l'électricité sera produite, la manière dont la connexion sera faite (retour par fil ou retour par le sol) et, autant que possible, on devra ajouter des renseignements complets sur la disposition des conducteurs et des lumières dans l'édifice.

(*Engineering News*).

Société américaine des ingénieurs civils. — La Société dite « American Society of Civil Engineers a son siège, 122, East Twenty-third Street, New-York, dans une maison qui lui appartient. Peuvent en faire partie les ingénieurs civils, militaires, des mines, mécaniciens, les architectes et toutes personnes qui par profession sont intéressées dans l'avancement de la science de l'ingénieur. Les membres se divisent en membres proprement dits, associés et juniors; ces deux dernières classes ne sont pas admises à prendre part aux votes. Pour être membre, il faut être ingénieur civil, militaire, des mines ou mécanicien et en avoir exercé activement les fonctions pendant sept années, ou bien être diplômé comme ingénieur civil, avoir exercé cinq ans et avoir eu la direction responsable d'un travail comme ingénieur en chef ou ingénieur résident pendant un an au moins; il ne suffit pas d'avoir été un employé intelligent, il faut être en état d'étudier aussi bien que de diriger un ouvrage de travaux publics.

Peuvent être associés, les directeurs de chemins de fer, canaux et entreprises analogues, les géologues, chimistes, mathématiciens, propriétaires ou directeurs de mines, forges, usines, etc., architectes, manufacturiers et personnes qui, par leurs connaissances scientifiques ou leur expérience pratique, ont acquis une position distinguée, et peuvent coopérer avec les ingénieurs pour l'avancement de la science et de l'industrie, mais qui n'exercent pas la profession d'ingénieur.

Enfin les *Juniors* sont des personnes qui pratiquent actuellement la profession d'ingénieurs civil, militaire, des mines, ou mécanicien depuis deux ans au moins, ou qui ont un diplôme d'une institution scientifique, depuis un an au moins.

On ne reçoit aucun membre d'aucune classe qui n'ait pas vingt et un ans.

Les candidatures pour l'admission à la Société doivent être appuyées par cinq membres au moins, qui certifient qu'elles connaissent personnellement le candidat et qu'il est digne d'être admis. Les demandes d'admission contiennent, signées du postulant, les indications d'âge, de résidence, de travaux, etc., et l'engagement de se conformer aux obligations imposées aux membres de la Société.

Les admissions ont lieu au scrutin. Cinq voix opposantes suffisent pour faire rejeter la candidature. Les membres se divisent au point de vue des cotisations en membres résidents qui habitent à moins de 50 milles (80 kilomètres) de New-York, et membres non résidents qui habitent plus loin. Voici quelles sont les cotisations et droits d'admission pour les diverses classes, en prenant pour le dollar la valeur ronde de 5 francs.

DROITS.	RÉSIDENTS.			NON RÉSIDENTS.		
	MEMBRES.	ASSOCIÉS.	JUNIORS.	MEMBRES.	ASSOCIÉS.	JUNIORS.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Admission.	150	100	100	150	100	100
Cotisation annuelle...	125	100	75	75	50	50
Total à l'admission..	275	200	175	225	150	150

La Société est administrée par un président, deux vice-présidents, un secrétaire, qui est en même temps bibliothécaire, un trésorier et cinq directeurs, total 10 *officiers*. Le président en exercice est M. J.-B. Francis et les vice-présidents MM. O. Chanute et Ashbel Welch, tous trois ingénieurs de très grande réputation.

A la fin de l'exercice qui s'est terminé le 3 novembre 1880, la Société comptait 611 membres de toutes classes, dont 127 non résidents. La bibliothèque renfermait à la même date 8,738 volumes et brochures, 105 manuscrits, 2,114 cartes, plans, dessins, photographies, gravures, etc., 230 modèles et échantillons. Un catalogue très détaillé est en préparation, et la première partie consacrée aux chemins de fer a été déjà publiée[1].

Les séances régulières de la Société ont lieu les premier et troisième mercredis de chaque mois à huit heures du soir. Les locaux de la Société sont ouverts tous les jours de semaine, de neuf heures du matin à cinq heures du soir, sauf le samedi où ils sont fermés à trois heures. Les mercredis ils sont ouverts le soir de sept heures et demie à dix heures.

La situation de la Société est très prospère, les recettes dépassent notablement les dépenses. Dernièrement les locaux se trouvant insuffisants, on a dû se préoccuper de chercher une installation plus commode et plus spacieuse. Il a été ouvert une souscription pour un fond de construction, et les sommes, tant versées immédiatement que promises, se sont élevées de suite à un chiffre si considérable que la Société a fait au mois d'avril dernier l'acquisition d'une maison au prix de 150,000 francs, dont la moitié a été payée. Un certain nombre de souscriptions ont été faites par des per-

1. Cette partie, qui est une liste très complète des ouvrages relatifs aux chemins de fer, est à la bibliothèque de notre Société.

sonnes étrangères à la Société; celle-ci a décidé que tout souscripteur de 500 francs serait inscrit sur la liste des membres, sous la rubrique de souscripteur pour le fond de construction, et recevrait sa vie durant les publications de la Société. Celles-ci paraissent mensuellement. La Société est à la tête de la profession en Amérique, et il est actuellement établi en pratique, que c'est un titre pour un ingénieur que d'en faire partie.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

SEPTEMBRE 1881.

Note sur les formes successivement suivies pour **le Règlement des indemnités dans le cas d'expropriation pour cause d'utilité publique**, par M. TARBÉ DE SAINT-HARDOUIN, inspecteur général des ponts et chaussées.

Note sur **l'Etude des rectifications des routes**, par M. Léon DURAND-CLAYE, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

L'auteur rappelle que M. l'inspecteur général Lechalas a, dans un mémoire inséré aux *Annales*[1], donné quelques règles générales, de nature à guider les ingénieurs dans l'étude des rectifications de routes. Il se propose de montrer dans cette note qu'il est possible d'éviter l'étude longue et coûteuse de plusieurs projets comparatifs, et d'aborder immédiatement la solution la plus rationnelle.

On cherche d'abord quel est le chargement normal des voitures, abstraction faite de la partie à rectifier; on examine ensuite dans quelles conditions la rectification utilisera le mieux la force des attelages. On connaît la hauteur h à franchir; le développement l du nouveau tracé est lié à la pente r par la relation $h = lr$. Connaissant la charge P à traîner, on calcule l'effort E sur la rampe r et on en déduit la vitesse v que prendra

1. Voir Comptes rendus de mai 1881, page 581.

l'attelage. $\frac{l}{v}$ est le temps nécessaire pour l'ascension de la rampe. En divisant le temps par la charge utile qui correspond à la charge brute P, on a le temps de l'unité de poids de chevaux par tonne utile transportée sur la rectification.

Si on appelle M l'effort spécifique maximum qui convient à un attelage montant une rampe r où le coefficient de résistance au roulement est f, on a pour le chargement brut des voitures par unité de poids de chevaux

$$C = \frac{M - r}{f + r}, \qquad \text{d'ou } r = \frac{M - fC}{C + 1}.$$

M. Durand-Claye a proposé la formule pratique :

$$M = \frac{1 - \sqrt{0{,}023\, l}}{3},$$

où l est exprimé en kilomètres pour proportionner M à la longueur de la rampe, parce que l'effort maximum qu'on peut exiger d'un cheval dépend de la durée de cet effort.

L'auteur conclut que, même en l'absence des points de comparaison recommandés par M. Lechalas, on peut poser, au sujet des rectifications, quelques règles qui se résument comme suit :

Partout où les routes présentent des anomalies, c'est-à-dire des rampes exceptionnelles, il y a lieu d'étudier le projet de leur rectification, sauf à ne pas l'exécuter, si la discussion économique montre qu'il n'y a pas utilité à le faire.

Cette étude doit être conduite de façon à mettre la rectification en harmonie avec les autres parties du trajet, suivi par les voitures qui fréquentent la route.

On y arrivera facilement, soit par tâtonnements, en suivant la marche indiquée dans le premier mémoire de M. Lechalas, soit par un calcul algébrique, si on admet les formules de M. Durand-Claye.

Complément de la note sur la **largeur à donner aux canaux dans les courbes**, par M. Ch. Mocquery, ingénieur des ponts et chaussées.

L'auteur, comme complément à sa note donnée dans le numéro d'août 1880 des *Annales* (voir comptes rendus de septembre de la Société des Ingénieurs civils, page 314), examine les conditions du raccordement des parties courbes élargies avec les parties droites contiguës, dont la largeur est normale. Il y a trois cas possibles :

1° L'élargissement symétrique;
2° L'élargissement total par la rive concave;
3° L'élargissement total par la rive convexe.

A L premier se fait en raccordant la rive concave par le prolongement de la circonférence de rive, jusqu'à sa rencontre avec la rive rectiligne et en abattant l'angle vif; pour la rive convexe on trace une parabole du second degré tangente à la circonférence de rive, en un point pris à une demi-longueur de bateau, à partir du rayon de passage, et à la droite de rive en un point pris à une longueur de bateau à partir du même rayon.

B. Le raccordement de la rive concave seul à faire dans le second cas s'effectue par le prolongement de la circonférence de rive, jusqu'à une demi-longueur de bateau du rayon de passage, et par une parabole tangente à la fois à cette circonférence au point ainsi obtenu, et à la droite de rive en un point pris à une longueur et demie de bateau à partir du même rayon.

C. Pour le cas de la rive convexe à raccorder, on porte à partir du rayon de passage une longueur de bateau sur la circonférence de rive, et deux longueurs sur la droite, et l'on trace une parabole du second degré tangente en ces points à un cercle et à la droite.

Ce dernier mode d'élargissement est de beaucoup le meilleur pour la batellerie.

Note sur un **Système employé pour la manœuvre des aiguilles** au nouveau déversoir de Port-à-l'Anglais, par M. Lavollée, ingénieur des ponts et chaussées.

Ce système, imaginé par M. l'ingénieur en chef Guillemin, se compose d'un crochet en fer, fixé à chaque aiguille, au niveau de la barre qui réunit les montants d'amont des fermettes et à laquelle on donne, pour sa nouvelle destination, la forme d'une tige ronde. Le crochet embrasse cette barre et y trouve un point d'appui, autour duquel l'aiguille peut pivoter, comme sur un axe horizontal.

La manœuvre est rendue si facile, qu'un enfant de douze à quinze ans est assez fort pour ouvrir un barrage avec des aiguilles de $3^{m},50$ de longueur munies de ce crochet. La dépense supplémentaire d'établissement n'excède pas 20 francs par mètre courant.

ANNALES DES MINES.

4e livraison de 1881.

Rapport sur la **Comparaison des deux types de voie à rail Vignole et à rail à double champignon**, par M. Vicaire, ingénieur en chef des mines.

Ce rapport a été fait par une commission prise dans le sein du comité d'exploitation technique des chemins de fer, chargé par M. le Ministre des travaux publics de procéder à une enquête sur les résultats donnés par l'un et l'autre type de voies.

La commission a dressé un questionnaire et l'a envoyé aux compagnies françaises qui y ont répondu avec le plus grand soin; quelques compagnies étrangères, consultées, ont bien voulu répondre à l'appel de la Commission. C'est d'après cet ensemble de renseignements qu'a été rédigé ce rapport.

Ce document examine successivement la question de l'établissement, celle de l'entretien et du renouvellement et enfin celle du fonctionnement plus ou moins avantageux des deux systèmes de voies.

Il nous est impossible d'analyser d'une manière un peu complète ce rapport, qui n'occupe pas moins de 85 pages des Annales; nous devons nous borner à reproduire les conclusions que la commission croit devoir proposer au comité de l'exploitation technique des chemins de fer d'émettre :

1° Il n'existe pas actuellement de motif absolu de donner la préférence, soit au rail à double champignon, ou pour mieux dire, au rail à coussinets, soit au rail à patin; les deux types de voies peuvent donner des résultats très satisfaisants dans tous les cas, à la condition d'employer des rails d'un poids convenable, des traverses bien égales et suffisamment rapprochées, un ballast de bonne qualité et à la condition de les tenir en bon état d'entretien;

2° L'emploi des coussinets, n'ayant plus pour objet de prolonger le service des rails au moyen du retournement, opération qui n'a plus d'importance économique sérieuse avec les rails d'acier, on ne doit pas, lorsqu'on a recours à ce mode d'attache des rails sur la traverse, s'assujettir à donner à ceux-ci un profil symétrique, mais s'attacher uniquement à donner au bourrelet inférieur la forme la plus convenable au point de vue de la résistance du rail et de sa bonne assiette dans le coussinet, en même temps qu'on renforcera le champignon supérieur, en vue de l'usure qu'il doit subir;

3° Relativement au choix à faire pour les lignes à construire par l'État, les avantages qu'on pourrait espérer d'obtenir par l'adoption d'un type nouveau et spécial de rail, ne seraient pas en rapport avec les inconvénients de la complication qui en résulterait dans le service des compagnies appelées vraisemblablement à exploiter ces chemins; il sera donc sage d'appliquer en général, suivant la disposition du 29 juillet 1880, les types adoptés pour les lignes principales, dont les chemins à construire sont les affluents; si ces types paraissent entraîner une dépense trop considérable pour des lignes secondaires, plutôt que d'en créer de nouveaux, il serait préférable d'emprunter à d'autres compagnies françaises des types plus économiques.

Note sur l'organisation du service d'hiver et sur la **Réfrigération artificielle de l'eau minérale** à l'établissement thermal de Bourbonne, par M. Trautmann, ingénieur en chef des mines.

Le but de la réfrigération artificielle de l'eau minérale est d'empêcher les émanations et les buées qui, lorsqu'on la laisse se refroidir naturellement dans les réservoirs, détériorent rapidement les combles et les charpentes, et ont amené la ruine de l'établissement qu'il faut reconstruire à neuf.

La refrigération se fait dans des tuyaux en cuivre refroidi extérieurement par un courant d'eau froide.

Note sur les expériences entreprises par M. le professeur Abel pour **Étudier le rôle des poussières** dans les explosions de mines, par M. L. Aguillon, ingénieur des mines.

Les conclusions de ce rapport sont que, si on peut admettre comme possible que des poussières étant mises en suspension dans l'air et enflammées par un coup de mine qui débourre, une inflammation de ce genre puisse, en l'absence complète de grisou, être propagée à une plus grande distance que les résultats de petites expériences ne peuvent le faire supposer, on ne peut guère soutenir que l'air d'une mine, dont le charbon dégage du grisou, puisse être, à un moment quelconque, absolument sans grisou; et comme l'existence de quantités de gaz très petites et non soupçonnées peut suffire à déterminer la facile propagation de la flamme par les poussières et développer ainsi de violents effets explosifs, il ne paraîtra pas nécessaire de supposer que les poussières charbonneuses peuvent, en l'absence complète de grisou, produire des explosions, même d'un caractère limité, dans le but d'expliquer des cas qui ne peuvent être attribués à des accumulations adventives ou à des dégagements instantanés de grisou.

Laveries anciennes du Laurium, par M. P. Negris, ancien élève de l'école des Mines.

Appareil de changement de marche à bras, avec contrepoids de vapeur, pour machines locomotives, par M. Baudry, ingénieur au chemin de fer P. L. M. — Cet appareil, que le chemin de fer de Lyon vient d'installer sur une de ses locomotives à grande vitesse, n'est autre que le type classique de mise en train des machines marines en usage depuis plus de vingt ans [1] et qu'on peut s'étonner de ne pas voir depuis longtemps employé d'une manière générale sur les locomotives de grande puissance.

1. Il serait peut être difficile de remonter à l'origine de cet appareil, mais on peut rappeler qu'il a été employé, entre autres, pour la manœuvre des coulisses de changement de marche des grands paquebots de la ligne d'Holyhead, *Ulster* et *Munster*, construits par James Watt et Cie, en 1860.

Le principe consiste à faire agir sur la vis de changement de marche le piston d'un cylindre à vapeur, lequel piston ne peut, vu le faible pas de la vis, déterminer le mouvement par lui-même, mais le mécanicien qui tourne la vis n'a à vaincre que la différence entre la résistance et l'effort de la vapeur, différence qu'on peut rendre aussi petite que l'on veut. Le mouvement du volant de manœuvre à main détermine au premier moment le déplacement d'un tiroir qui envoie la vapeur sur le côté convenable du piston pour aider à la manœuvre.

Pour ne pas multiplier les modèles et pour faciliter l'entretien, on a jugé convenable d'adopter un même diamètre de cylindre pour toutes les locomotives : dans le cas où ce cylindre serait trop grand pour l'effort à exercer, on réduit la pression au moyen d'une soupape de réduction de pression.

Nous rappellerons que les locomotives du Pensylvania Railroad dont il a été question dans la chronique d'avril 1880, page 472, sont munies d'un changement de marche à vapeur, mais d'un modèle différent de celui-ci, lequel est également employé en Angleterre.

Sur la nature de l'acier le plus convenable pour les rails, par M. GRUNER.

M. Gruner pose la question comme suit : L'acier fondu pour rails doit-il être dur ou doux, et la nature de l'acier est-elle, ou non, sans influence sur le profil du rail ?

Il passe en revue les tendances manifestées à l'égard de la nature de l'acier, en France d'abord, où il signale naturellement les extrêmes représentés par le Nord qui veut un acier dont la charge de rupture soit comprise entre 60 et 74 kilogrammes par millimètre carré avec un allongement de 20 à 10 pour 100 sur 100 millimètres, et le Midi qui exige des charges de rupture de 79 à 83 kilogrammes avec des allongements de 11 à 4 pour 100.

Dans les autres pays, la tendance est de préférer des aciers cédant à des charges plus faibles, entre 50 et 60 kilogrammes.

L'auteur examine les conditions d'essai, qui indiquent immédiatement combien les rails étrangers sont plus doux que les rails français; il discute les rapports si connus du docteur Dudley, chimiste du Pensylvania-Railroad, en critiquant l'abus que celui-ci a fait, à son avis, de la formule chimique pour classer les rails en bons et en mauvais, suivant qu'ils sont en dedans ou en dehors des limites très étroites de cette formule.

En résumé, M. Gruner considère comme établi : que les rails doux s'usent moins et durent plus longtemps que les rails durs; que l'usure de ces derniers est due surtout à l'oxydabilité plus grande du fer, lorsqu'il est uni à des éléments tels que : le manganèse, le phosphore et le silicium; que l'acier des rails à double champignon peut, sans inconvénient, être plus dur que celui des rails à patin, mais qu'il ne faut jamais imposer la singulière condition de la rupture sous une certaine hauteur de chute,

condition qui implique une plus grande impureté de l'acier; qu'il faut éviter tout ce qui tend à favoriser la trempe des parties minces des rails lors du laminage, par exemple les bords trop minces du patin, etc.; enfin qu'il est à désirer que les compagnies s'entendent pour adopter un petit nombre de types communs, et qu'au besoin elles chargent une commission d'ingénieurs et de chimistes de l'étude complète des questions qui influent sur la durée des rails.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

10e *numéro de* 1881.

Vérification par des moyens optiques des lois théoriques de la résistance à la flexion et à l'extension des matériaux de construction, par M. O. Intze, professeur à l'École technique supérieure d'Aix-la-Chapelle.

Alimentation continue et automatique des chaudières à vapeur, par le docteur R. Proell, à Dresde.

Machines-outils à l'Exposition allemande de patentes et de marques de fabriques, à Francfort.

Fours à briques.

Acier fondu sans soufflure.

Tôles d'acier pour la construction des navires.

Essais d'acier.

Emploi de l'acier dans la construction navale.

Influence de l'hydrogène sur le fer et l'acier.

Corrosion du fer et de l'acier doux.

Action physique de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone sur le fer et l'acier.

Soudage du nickel et du fer.

Résistance du bronze.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ET ARCHITECTES D'AUTRICHE.

N° 5. — 1881.

Maison de M. A. Gerster, à Vienne, par M. Julius Dörfel, architecte.

Recherches sur la nature du terrain, à Vienne, par M. l'ingénieur en chef F. Berger.

Changement de voie avec mécanisme de sûreté, patente Clément, par M. A. Wagner, ingénieur en chef du chemin de fer du Vorarlberg.

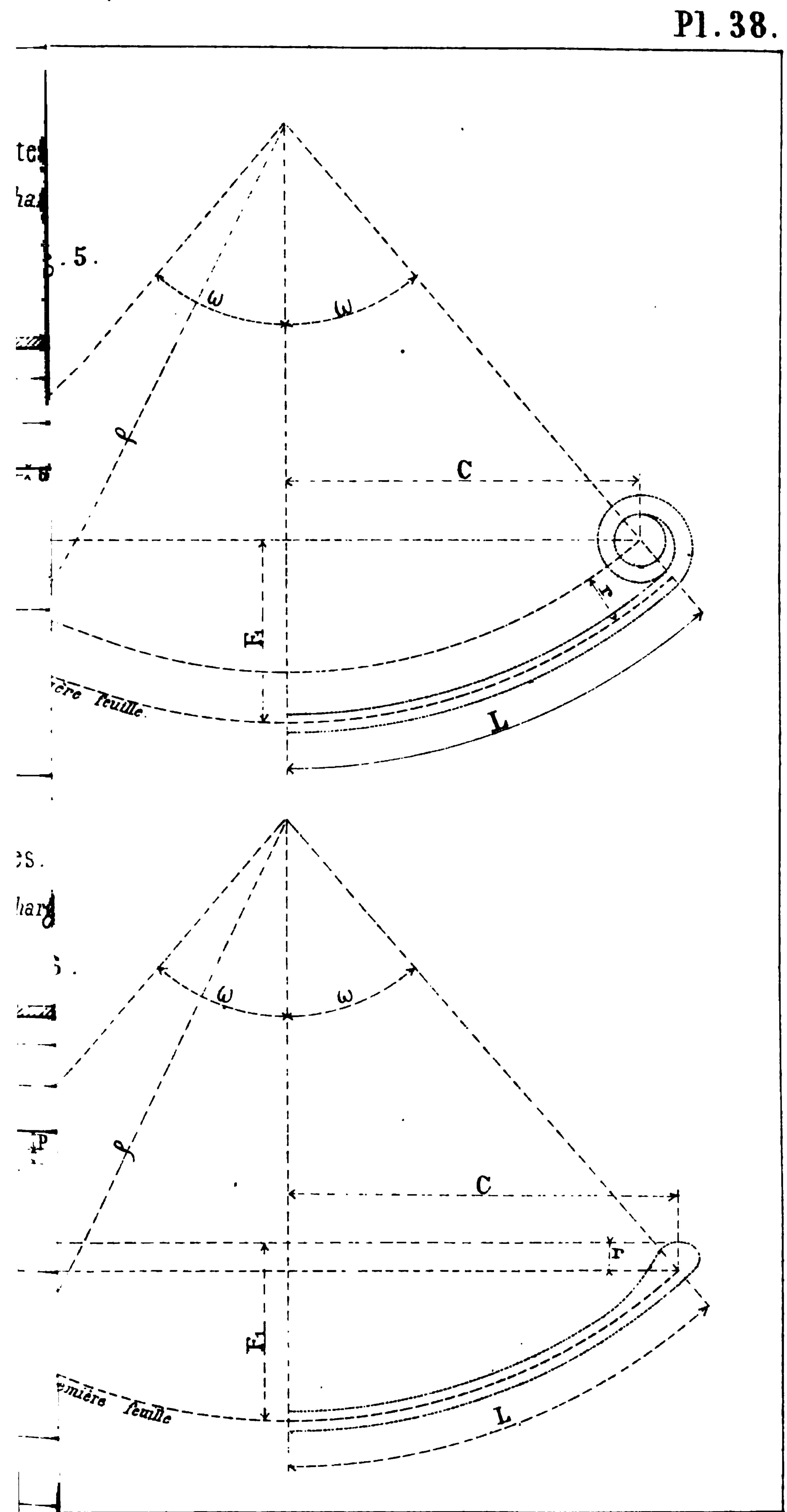
Solution générale du problème de Saint-Venant, par M. le professeur Émil Hermann, de Schemnitz.

Étude sur la formule fondamentale de l'aérodynamique, par M. l'ingénieur en chef, chevalier de Lössl.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. Mallet.

PARIS. — IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.


ω
ω
ρ
C
r
F1
L
ère feuille
ω
ω
ρ
C
r
F1
L
emière feuille

II. — Résum…

	RESSORT DE CHOC.	RESSORT DE TRACTION.
	2400	2000
	4800	5000
	0,070	0,015
	1	1
…nière feuille	0,080	0,100
	20 × 10⁹	20 × 10⁹
	0,004.5	0,004
	0,004.5	0,004
…er	600km	»
…uspension ou des sellettes	1,800	»
…rt et le plan inférieur du…	»	»
…le et le plan inférieur du…	»	»
…es boulons de supports de…	»	»
	»	»
	»	»
	»	»
…e feuille	»	»
…cule chargé (demandée)	»	»
…cule chargé (réelle)	»	»
…du boulon de l'extrémité…	»	»
…mité du ressort et celui de…	»	»
	1,800	0,950
…uille	0,090	0,125
	0,047.5	0,037.5
	0,075	0,075
	0,010	0,010
	19	12
	0,190	0,120
	0,346	0,130
	119	41
	113	41
	»	»
	0,071	0,015
…), sans tenir compte de l'in…	0,004.55	0,003.96
…véhicule chargé	1,800	»
…u rouleau, ou l'arête de co…	»	»
…cule chargé	»	»
…e feuille, sous véhicule cha…	»	»
	»	»
…ent, ou course des tampo…	0,170	0,045
…totale, ou de la tension ma…	0,341	0,075
	»	»
	»	»
	»	»
…nce des menottes	»	»

Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

DÉCEMBRE 1881

N° 12

Pendant le mois de décembre, les questions suivantes ont été traitées :

1° *Caisses de retraite dans les chemins de fer*, par M. Jacqmin, compte rendu par M. Ivan Flachat (séance du 2 décembre, page 591).

2° *Poutres des ponts en fer, calcul des contreventements* (gauchissement des) par M. Périssé (séance du 2 décembre, pages 555 et 601).

3° *Métallurgie du zinc* (application de l'électricité à la) par M. Létrange (séance du 2 décembre, page 602).

4° *Récompenses obtenues* par des membres de la société de l'*exposition d'électricité*, page 612.

5° *Ports sud de Marseille*, protestation de M. Deshorties de Beaulieu (séance du 16 décembre, page 613).

6° *Situation financière de la Société* (séance du 16 décembre, page 613).

7° *Elections des membres du bureau du Comité*, pour l'année 1882 (séance du 16 décembre, page 616).

Pendant le mois de décembre la Société a reçu :

De M. Périssé, membre de la Société, un mémoire sur le *Gauchissement des poutres de ponts métalliques*.

De M. Cantagrel (Charles), membre de la Société, un mémoire sur l'*Amélioration de la passe sud du delta du Mississipi*.

De M. Fonja, un ouvrage en anglais, intitulé : *Portland ciment for users*.

De M. d'Eichthal, membre de la Société, un exemplaire d'une carte de M. Fossik, donnant l'*Histoire du commerce du fer depuis cinquante ans*.

De M. Cacheux, membre de la Société, un exemplaire du *Programme du concours ouvert par la Société anonyme de Passy-Auteuil, pour les habitations ouvrières, pour la construction d'un nouveau groupe d'une vingtaine de maisons, près de la rue et de l'impasse Boileau, à Auteuil*.

De M. Dubuisson, membre de la Société : 1° une note sur des *Essais sur l'amélioration des travaux publics;* 2° Sept brochures intitulées : *Regains scientifiques*.

De M. J.-A. Normand, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur *Augustin Normand* et *Frédéric Sauvage*.

Un exemplaire de l'avis de la chambre de commerce de Marseille sur le *Contre-projet de M. Deshorties relatif à la création de nouveaux bassins au sud de Marseille*.

Les Membres nouvellement admis sont :

MM.	Baudot,	présenté par MM.	Cahen, Girard et Lecocq.
	Dubuisson,	—	Dumont, Faucon et Joyant.
	Groenberg,	—	Bataille, Lartigue et Mors.
	Linard,	—	Jaunet, Legat et Peignot.
	Maury,	—	Berthelière (de la), Michelet et Moreau.
	Méritens (de),	—	Carimantrand, Marché et Mathieu.
	Molleveaux,	—	Brüll, Couard et Daveluy.
	Mariez,	—	Badois, Belin et Leclerc.
	Reynier,	—	Carimantrand, Gottschalk et Marché.

Comme Membres associés :

MM.	Binder,	présenté par MM.	Lavezzari, Morandiere et Quenay.
	Delorme,	—	De Comberousse, Germain et Vigreux.

DU GAUCHISSEMENT

DES

POUTRES DES PONTS EN FER

CALCUL DES CONTREVENTEMENTS

PAR M. **SYLVAIN PÉRISSÉ**,

Ingénieur, ancien Élève de l'École Centrale, Membre du Comité de la Société des Ingénieurs civils,
Membre du Jury des Récompenses (Mécanique) à l'Exposition universelle de 1878,
Expert près les Tribunaux de la Seine.

Les recherches théoriques que je vais avoir l'honneur de présenter à la Société des Ingénieurs civils, avec leur application à divers ouvrages existants, ont été faites à l'occasion d'une expertise qui a été ordonnée par le Conseil de préfecture de la Haute-Garonne, en juillet 1879, à l'effet de rechercher et de faire connaître la cause de la chute du pont de Miramont.

Les études qui font l'objet de ce mémoire datent donc de deux ans bientôt. La partie purement théorique a été présentée à l'Académie des sciences qui en a inséré un extrait dans ses comptes rendus, à la date du 14 juin 1880.

Si le travail complet n'a pas été rendu public plus tôt, c'est qu'il convenait d'attendre l'issue de l'instance engagée entre l'entrepreneur, M. Girard, et le département de la Haute-Garonne.

Il y a aujourd'hui chose jugée, et le rapport des experts ayant été homologué, je puis entretenir la Société d'un problème qui touche à la Résistance des matériaux, et dont la solution théorique complète n'existe pas encore. Je veux parler du gauchissement des poutres des ponts en fer, et du moyen de calculer les pièces qui les contreventent, soit dans le plan vertical, soit dans le plan horizontal.

Mais avant, et pour mieux faire comprendre l'intérêt de ma communication, qu'il me soit permis de dire en quelques mots comment et

pourquoi l'accident du pont de Miramont est arrivé le 23 septembre 1878.

Le pont métallique exécuté sur la Garonne, à Miramont, près Saint-Gaudens, pour le passage de la route départementale n° 29, comprenait une seule travée de 52m,60 de portée, d'axe en axe des appuis.

La partie métallique se composait essentiellement de deux maîtresses-poutres longitudinales reliées à leur partie inférieure par des pièces de pont, espacées de 3m,60 et portant quatre cours de longerons.

La route devait avoir une voie charretière de 5 mètres, formée d'une chaussée en empierrement établie sur voûtes en briques, et deux trottoirs de 1 mètre. Il y avait donc 7 mètres de largeur, d'axe en axe des poutres de rive.

Les deux maîtresses-poutres étaient semblables, à treillis, à grandes mailles. Leur hauteur était de 5 mètres, mesurée en dedans des deux plates-bandes horizontales, lesquelles avaient 700 de largeur, et étaient assemblées au moyen de cornières de 120 × 120 × 14, avec une âme longitudinale haut et bas, de 700 de hauteur et 10 d'épaisseur. Le treillis était, suivant l'usage, composé de pièces tendues et de pièces comprimées. Les premières, placées sur la face intérieure de l'âme de la poutre étaient de simples fers plats. Les secondes, placées sur la face extérieure étaient constituées aussi par des fers plats, mais sur lesquels étaient rivées des barres de fer T, formant nervures.

D'après les dessins approuvés, un montant vertical devait être placé sur la face *extérieure* de la poutre, au droit de chaque pièce de pont. Ce montant devait être formé d'une tôle verticale de 10 millimètres d'épaisseur, embrassant la demi-largeur de la maîtresse-poutre, et de deux cornières 100 × 100 × 10.

Remarquons que, d'après le projet, les montants verticaux et les croisillons nervés des treillis se trouvaient, les uns et les autres, sur la face extérieure de la poutre. Il résultait de cette disposition : d'une part, que les cornières du montant vertical étaient interrompues à chaque point de croisement des treillis nervés, et d'autre part, que la face intérieure des maîtresses-poutres était complètement dépourvue de pièces présentant une raideur quelconque dans le sens transversal, puisque les croisillons intérieurs étaient tous composés de fers plats.

Les dispositions et les dimensions prévues au projet pour les montants verticaux n'ont pas été suivies; leur nombre fut diminué sur les indications de l'ingénieur, et dès lors, il n'y eut plus concordance entre les pièces de pont et les montants verticaux. De plus, par suite d'un malentendu, les montants furent construits sans nervure en tôle, et composés seulement de deux cornières ayant entre elles une simple fourrure.

La description sommaire qui précède permettra de voir plus clairement comment s'est produit l'accident du 23 septembre.

Le pont avait été lancé et reposait sur les culées. Il était donc à sa place définitive.

Quelques pièces de bois ayant servi pour le montage et le lancement étaient encore en place la veille de l'accident. Ces pièces de bois faisaient office, les unes d'entretoises horizontales supérieures, les autres de montants verticaux intérieurs, allant de la pièce de pont à la plate-bande supérieure des poutres de rive.

L'ordre ayant été donné de faire l'empierrement de la chaussée, et de se préparer aux épreuves, on dut enlever la plus grande partie de ces pièces de bois qui s'opposaient au libre passage des tombereaux apportant le gravier d'empierrement.

Le matin de l'accident, l'empierrement fut commencé. A onze heures du matin, on avait mis sur le pont vingt mètres cubes de gravier sur une longueur de 20 à 25 mètres d'un seul côté, lorsque l'ouvrage tout entier s'est effondré dans la rivière avec une telle rapidité qu'il a entraîné dans sa chute la plupart des hommes qui se trouvaient dessus.

Comment la chute s'est-elle produite ? La réponse à cette question est des plus faciles, pour quiconque a visité les lieux après l'accident ou a vu les photographies de l'ouvrage écroulé.

La poutre d'aval a perdu la première sa verticalité. La plate-bande supérieure s'est déversée en son milieu sur l'intérieur du tablier. La poutre d'amont a subi immédiatement après un déversement latéral identique en tombant sur la poutre d'aval qu'elle a recouverte en son milieu. Aux extrémités des poutres, des effets inverses se sont produits. Les parties supérieures se sont déversées en dehors du tablier en entraînant les parties inférieures que les attaches des pièces de pont ont été impuissantes à retenir, de telle sorte que les poutres quittant les quatre points d'appui, le tablier est tombé d'un seul bloc dans la

rivière. La vue en plan montrait deux poutres tordues, restées verticales dans les parties basses qui étaient maintenues par les pièces de pont, tandis que les deux semelles supérieures en se rejoignant et en se tordant sur elles-mêmes, avaient pris une forme se rapprochant de celle d'un X très allongé.

Il est incontestable que la chute s'est produite par suite du gauchissement ou flambage des poutres de rive.

Mais si ces poutres étaient constituées pour résister convenablement aux moments fléchissants et aux efforts tranchants dus aux charges verticales, elles ne comportaient aucune des pièces qu'il leur était indispensable de posséder pour résister aux efforts gauchissants.

En un mot, les poutres remplissaient toutes les conditions voulues par les règlements; les calculs de résistance que l'on a l'habitude de faire leur avaient été appliqués. Mais, en pratique, elles ne justifiaient pas l'hypothèse qui sert de base à ces calculs.

En effet, les formules de la théorie de la flexion plane appliquées au calcul des diverses pièces du tablier métallique, supposent que les pièces conservent leur verticalité comme les charges qui les fléchissent On admet implicitement que les trois parties essentielles de la section double I, l'âme et les deux semelles plates-bandes, ont leur centre de gravité sur une même verticale passant dans le plan de flexion, et que, dans ce plan, sont appliquées les forces fléchissantes.

Ces conditions doivent être réalisées pour permettre l'application des formules ordinaires de la Résistance.

Or, il n'en est pas toujours ainsi : deux causes, nous le démontrerons plus loin, tendent à y faire obstacle ; ce sont :

1° Le mode ordinaire d'assemblage des pièces de pont ;

2° Les compressions longitudinales exercées sur la plate-bande supérieure des poutres.

Sous l'effet de ces deux causes, le gauchissement ou flambage des poutres de rive tend à se produire. Celles-ci se déverseraient et perdraient la position verticale, si certaines pièces ne les y maintenaient d'une façon plus ou moins absolue. Ces pièces, trop souvent considérées

comme des accessoires, sont donc indispensables à la résistance quand il s'agit de grandes poutres. Nous voulons parler des montants verticaux et des contreventements supérieurs.

Lorsque l'ouvrage a ses pièces de pont reposant sur la plate-bande inférieure des maîtresses-poutres, la partie supérieure de celle-ci tend à se déverser sur l'axe du tablier. Ce déversement est maximum vers le milieu de la portée, lorsque le pont est à une seule travée. C'est le cas du pont de Miramont. Lorsque le pont est à deux travées avec poutres continues, le déversement sur l'intérieur s'accentue surtout vers un point situé entre le milieu de la portée et la culée, tandis que le déversement vers l'extérieur se manifeste principalement de chaque côté de la pile, au quart environ de la portée. C'est ce que nous avons observé au pont de Pinsaguel dont il sera question plus loin.

A moins d'avoir des poutres d'une raideur horizontale exceptionnellement grande, le déversement ne sera *empêché* que par des entretoises supérieures allant d'une poutre de rive à l'autre, ou bien, à défaut de ces entretoises formant contreventement supérieur avec les barres de triangulation, le déversement ne sera *arrêté* que par des montants verticaux suffisamment forts et convenablement disposés.

Les constructeurs connaissent l'importance de ces pièces et les déterminent par comparaison avec des ouvrages plus ou moins analogues ayant déjà reçu la sanction de la pratique; mais à notre connaissance on n'a indiqué jusqu'ici aucune formule pour le calcul des contreventements supérieurs et des montants verticaux.

Cette question n'est traitée dans aucun ouvrage, ni dans aucun des cours spéciaux professés dans nos grandes écoles.

Nous avons essayé de combler cette lacune, et si notre exposé théorique peut laisser à désirer, nous avons néanmoins la conviction d'avoir ouvert la voie aux ingénieurs théoriciens, et d'avoir indiqué, en attendant les résultats de leurs recherches, des formules qui permettront de munir les ponts en fer des pièces nécessaires pour empêcher le déversement des poutres en assurant leur verticalité.

Les poutres de rive doivent être constituées pour résister, d'une part, aux moments gauchissants que les pièces de pont développent sur elles, et, d'autre part, aux efforts de compression longitudinale qui tendent à fléchir horizontalement la plate-bande supérieure.

Dans le mémoire que j'ai présenté à l'Académie des sciences, et qui a pour titre :

Des causes qui tendent à gauchir les poutres des ponts en fer, et des moyens de calculer ces poutres pour résister aux efforts gauchissants.

J'ai considéré un pont à une seule travée de portée L avec deux maîtresses-poutres de hauteur H et un tablier supporté par *n* pièces de pont, équidistantes, placées à la partie inférieure, l'ouvrage étant avec ou sans contreventement supérieur.

PREMIÈRE CAUSE

Moments gauchissants développés par l'assemblage des pièces de pont.

Les pièces de pont exercent sur les poutres de rive des moments gauchissants. Ces moments varient avec le mode d'appui et d'attache des pièces de pont ; l'usage, pour ainsi dire général, est de les appuyer sur la moitié de la plate-bande inférieure. On sait que, pour les solides reposant simplement sur deux appuis, les extrémités ne restent pas horizontales sous les charges fléchissantes, et que si ces extrémités faisaient primitivement un certain angle avec l'horizontale, cet angle aura pris un accroissement α, lorsque les charges fléchissantes auront été appliquées.

Or, en aucun cas, les pièces de pont ne peuvent être considérées comme encastrées sur les poutres qui sont elles-mêmes sujettes à des déformations. Leurs extrémités prendront donc un certain angle α qui sera d'autant plus petit que les attaches seront plus efficaces, puisqu'elles auront pour effet de s'opposer à ce mouvement des extrémités, à la condition que les parties de la poutre sur lesquelles s'exercent les attaches soient de nature à ne pas se déformer elles-mêmes.

Il résultera du relèvement des abouts des pièces de pont que leur appui se fera, non dans le voisinage de l'âme de la poutre, mais plutôt du côté de l'arête intérieure de la plate-bande. La résultante P des efforts verticaux élémentaires que la pièce appuyée exerce sur la poutre est donc appliquée à une distance d du plan de flexion. De là, un moment gauchissant Pd.

Considérons, pour fixer les idées, une poutre prismatique en forme double T, posée sur deux appuis et recevant des charges uniformément réparties entre les appuis ; les unes P agissant à une distance d, du plan de flexion; les autres p, représentant le poids propre de la pièce par unité de longueur, sont appliquées dans le plan même de flexion.

Si nous considérons cette pièce dans son ensemble, nous la voyons soumise à trois séries de forces extérieures : les forces P, les forces p, et deux forces Q exprimant la réaction des appuis, et agissant à une distance d_1 du plan de flexion (voir figures 1 et 2).

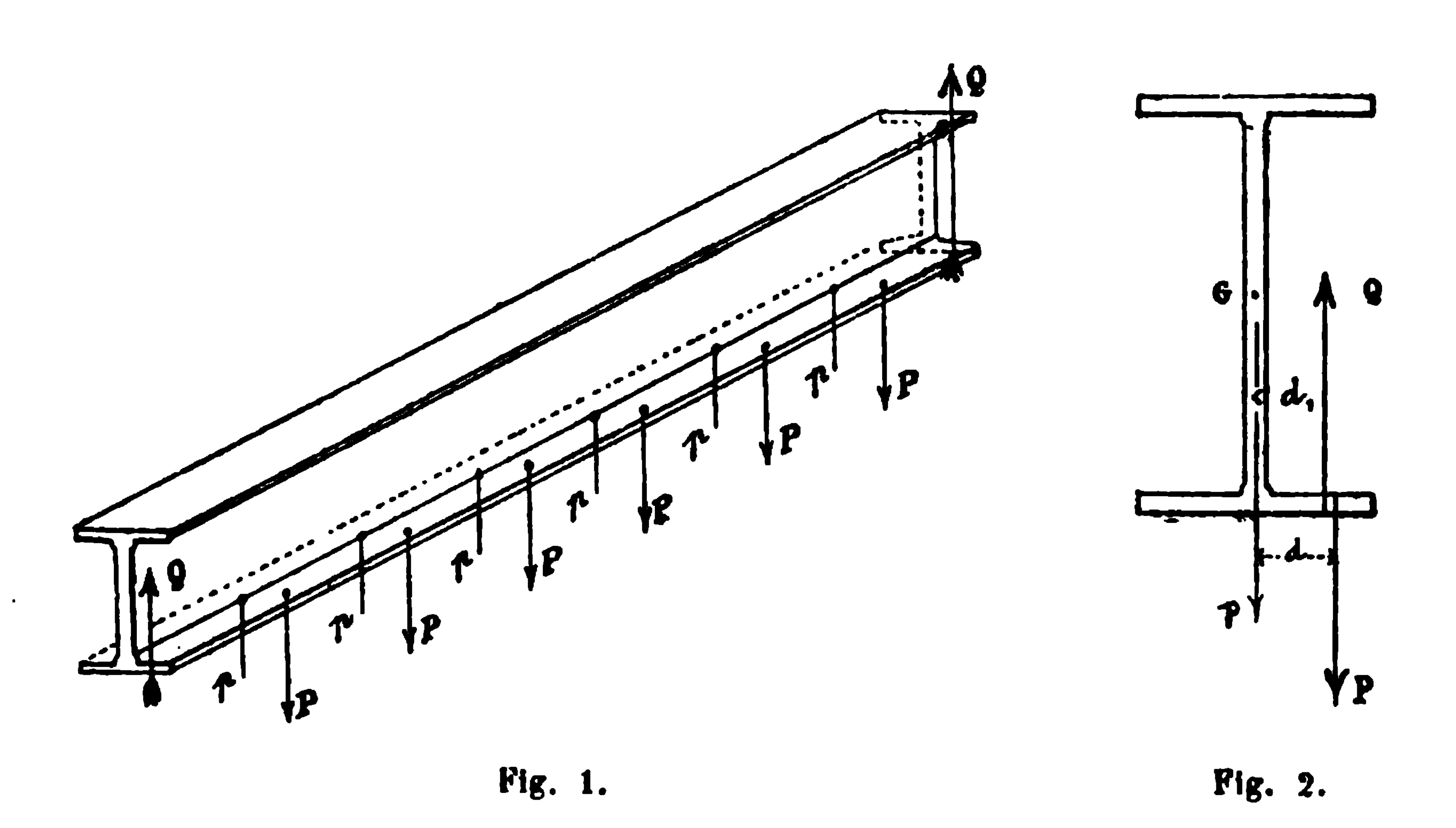


Fig. 1. Fig. 2.

Pour l'équilibre, il faut que ces forces satisfassent aux équations des projections et des moments.

Projetons sur un plan vertical passant par l'axe longitudinal de la poutre ; on a :

$$\Sigma P + \Sigma p - 2Q = 0$$

P et p étant connus, la valeur de Q s'en déduit :

$$Q = \frac{\Sigma P + \Sigma p}{2}. \qquad \text{(Formule 1)}$$

Prenons les moments par rapport à un axe longitudinal passant par lecentre de gravité G ; l'équation des moments est :

$$\Sigma P d - 2 Q d_1 = 0$$

d'où :

$$d_1 = d \frac{\Sigma P}{2Q} = d \frac{\Sigma P}{\Sigma P + \Sigma p}. \qquad \text{(Formule 2)}$$

La distance d étant donnée, d_1 s'en déduit. Toutes les quantités sont donc ainsi déterminées.

Les forces extérieures P et Q tendent à tordre la poutre. En effet, chaque force P tend à faire tourner la poutre de gauche à droite, sur la figure, en exerçant sur elle un moment P d. Les deux forces Q font équilibre aux forces P par un moment Q d_1, à chaque extrémité. La poutre sera donc tordue, gauchie sous l'action des forces P et Q qui exercent sur elle une série de moments gauchissants.

Il n'est en usage aucun moyen de calculer la résistance à la torsion d'une poutre ayant une section de forme simple T ou double T, avec une âme qui est le plus souvent évidée, c'est-à-dire formée par des barres de treillis.

D'ailleurs, aurions-nous ce moyen, il n'y aurait pas lieu de l'appliquer, car il importe peu que la poutre puisse résister à la torsion sans perdre son élasticité. Ce que nous cherchons à déterminer, ce sont les conditions à remplir pour maintenir sensiblement les deux semelles de la poutre sur une même verticale, afin de pouvoir résister aux moments fléchissants et aux efforts tranchants. C'est donc une question de limite dans la déformation de la poutre sous les moments gauchissants. Or, nous savons, par assimilation à ce qui se passe dans les prismes en fer, ronds ou rectangulaires, que la déformation par torsion serait très grande. On peut donc, sans craindre de se tromper, dire que l'angle de torsion de la poutre abandonnée à elle-même, serait tel que les deux semelles perdraient complètement leur aplomb.

Pour résoudre le problème posé, supposons nulle la résistance de la poutre à la torsion, et cherchons l'équilibre en nous plaçant dans les conditions d'une maîtresse-poutre de pont.

Il faut, pour résister aux moments gauchissants Pd, d'autres forces extérieures que celles déjà considérées. Or, nous voyons de suite que les pièces de pont, si elles sont reliées avec la poutre, exerceront ou pourront exercer sur elle des forces dirigées suivant les fibres des extrémités de la pièce de pont. Il en sera de même des entretoises du contreventement supérieur, s'il en existe.

Nous sommes ainsi amenés à considérer deux cas, suivant que le tablier du pont est muni ou non muni d'entretoises horizontales placées entre les semelles supérieures des poutres de rive.

PREMIER CAS

Pont avec contreventement supérieur

§ I. Supposons d'abord qu'il existe une entretoise horizontale supérieure au droit de chaque pièce de pont.

La pièce de pont agissant à la façon d'un tirant, exercera sur la poutre une force t_1 faisant un angle α en dessous de l'horizontale et appliquée à une hauteur λ, au-dessus de la plate-bande inférieure. L'angle α est connu, puisqu'il peut être déterminé par les conditions d'équilibre de la pièce de pont, sous les charges qui la fléchissent. La hauteur λ représente la distance du point d'application de la résultante des attaches; elle peut donc être très différente et même nulle, si la pièce de pont n'est reliée qu'avec la semelle inférieure.

L'entretoise supérieure exercera sur la poutre une force horizontale t_2, de signe contraire à t_1, s'opposant par conséquent à une translation de la plate-bande supérieure vers l'intérieur du tablier.

La maîtresse-poutre est donc sollicitée par cinq séries de forces extérieures qui sont :

$$\Sigma P \quad \Sigma p \quad 2Q \quad \Sigma t_1 \quad \text{et} \quad \Sigma t_2.$$

Les trois dernières forces sont à déterminer.

Considérons l'*équilibre de l'ensemble.*

La somme des moments des deux forces t_1 et t_2 est égale et de signe contraire au moment Pd. C'est utile, nous le verrons, pour l'équilibre de chaque panneau de la poutre.

En prenant les moments par rapport à un axe longitudinal passant par le point d'application de la force t_1, on obtient (voir figure 3).

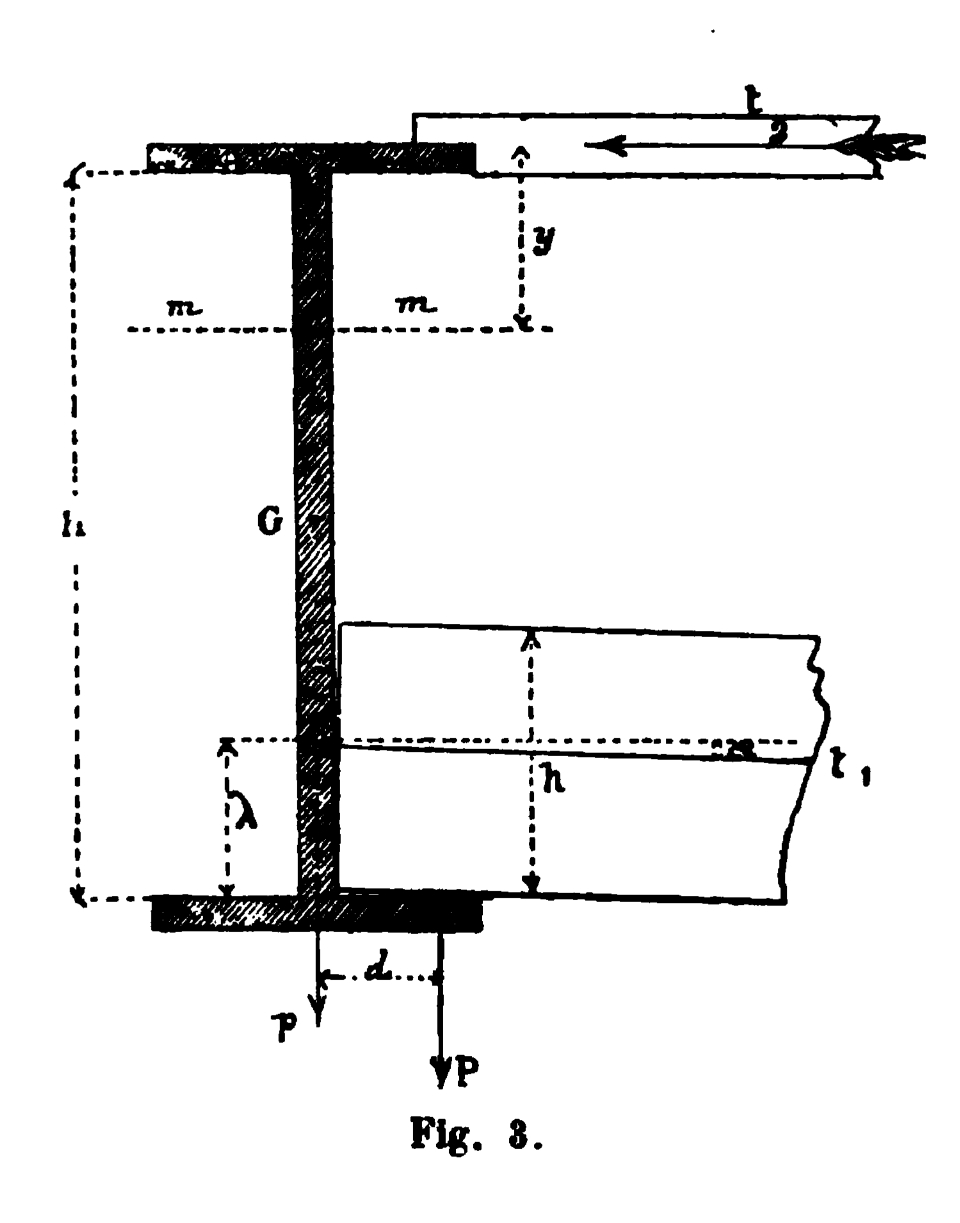


Fig. 3.

$$\Sigma P\, d - (H - \lambda)\, \Sigma t_2 = 0.$$

Si nous projetons sur un plan horizontal,

$$\Sigma t_1 \cos \alpha = \Sigma t_2$$

et enfin, en projetant sur un plan vertical passant par l'axe longitudinal de la poutre, on a :

$$\Sigma P + \Sigma p + \Sigma t_1 \sin \alpha - 2\, Q = 0$$

On a donc trois équations pour déterminer les trois forces t_1 t_2 et Q qui ont pour expression :

$$\Sigma t_2 = \Sigma P \frac{d}{(H - \lambda)}.$$

$$\Sigma t_1 = \Sigma P \frac{d}{(H - \lambda) \cos \alpha}.$$

$$Q = \frac{\Sigma P + \Sigma p}{2}.$$

Le terme en fonction de sin α a été négligé dans la valeur de Q

qui est ainsi la même que précédemment, mais $d_1 = 0$ puisque l'équation des moments est satisfaite sans faire intervenir la réaction de l'appui Q ; elle est donc comprise dans le plan même de flexion.

Considérons maintenant *l'équilibre de chaque portion de poutre.*

Soit un panneau intermédiaire supportant une pièce de pont. Il sera d'une longueur égale à l'écartement de deux pièces voisines.

Comme nous avons supposé nulle la résistance à la torsion, les réactions des parties voisines seront de deux espèces seulement ; des forces verticales égales aux efforts tranchants, et des forces longitudinales remplaçant les moments fléchissants. En un mot, les réactions dues à la torsion ou aux moments gauchissants sont supposées nulles.

La portion de poutre considérée est soumise aux forces extérieures suivantes (voir figure 4) :

4 forces verticales : $n(P + p)$ P p $(n - 1)(P + p)$

C C C′ C′, forces longitudinales, que nous pouvons supposer horizontales ;

t_2 et t_1, forces transversales.

Projetons sur un plan horizontal. Nous avons :

$$C - C + C' - C' + t_2 - t_1 \cos \alpha = 0$$

d'où $$t_1 = \frac{t_2}{\cos \alpha},$$

et, en prenant comme précédemment les moments par rapport à un axe longitudinal passant par le point d'application de la force t_1, l'équation est :

$$P d - t_2 (H - \lambda) = 0$$

d'où, $$t_2 = \frac{P d}{H - \lambda}. \qquad \text{(Formule 3)}$$

Et remplaçant t_2 par sa valeur,

on a : $$t_1 = \frac{P d}{(H - \lambda) \cos \alpha}. \qquad \text{(Formule 4)}$$

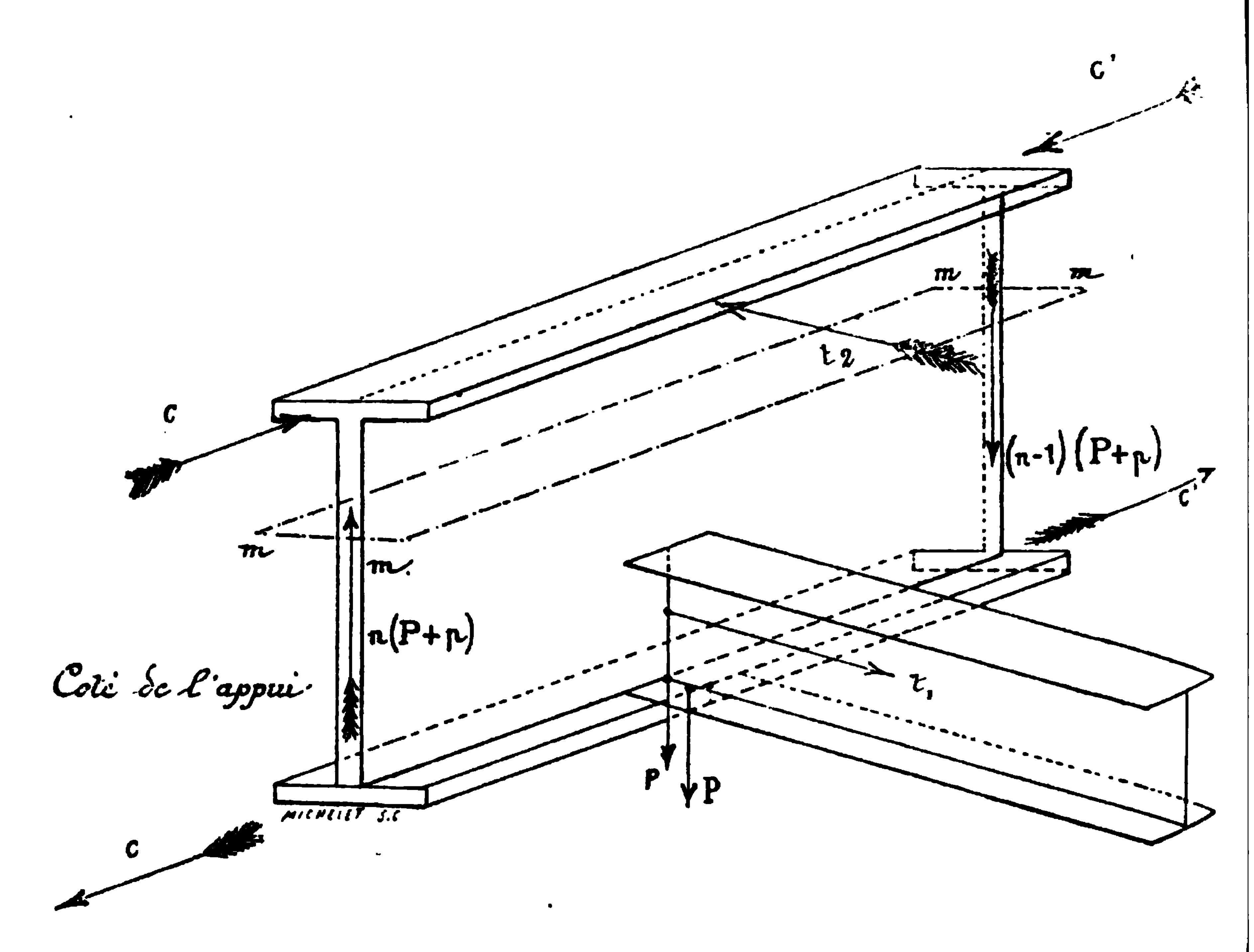


Fig. 4.

Pour simplifier les formules, faisons $\cos \alpha = 1$ puisque l'angle a est très petit, et alors

$$t_2 = t_1 = \frac{Pd}{(H - \lambda)}. \qquad \text{(Formule 5)}$$

Lorsque la liaison de la pièce de pont n'existe que sur la semelle inférieure, sans attaches avec l'âme de la poutre, on a $\lambda = 0$. La formule se simplifie encore et devient,

$$t_2 = t_1 = \frac{P\,d}{H}. \qquad \text{(Formule 6)}$$

On a ainsi la valeur minimum de t_2.

Toutes les forces extérieures sont donc connues. Il est donc facile de poser les *formules de résistance* des différentes parties de la poutre.

La portion située au-dessus de l'appui est soumise à l'effort tranchant maximum, égal et opposé à la force Q appliquée dans le plan de flexion. Cette portion de poutre se calcule donc comme à l'ordinaire, puisqu'elle n'est pas soumise à des efforts gauchissants, dans les conditions où nous nous sommes placés.

Dans un panneau intermédiaire quelconque de la poutre, considérons une section horizontale $m\,m$ dans la paroi constituant l'âme de la poutre, à une distance y de la plate-bande supérieure (figures 3 et 4), cette paroi étant dans le panneau considéré, composée de diverses pièces, verticales ou non, montants ou barres inclinées du treillis. Il n'est pas indispensable d'avoir des montants verticaux.

Laissons de côté les moments fléchissants et les efforts tranchants que nous savons calculer, et considérons seulement les forces extérieures, P t_1 et t_1 qui donnent des moments gauchissants.

En prenant les moments des forces intérieures par rapport au centre de figure des diverses sections composant la paroi-âme, on obtient ; $\Sigma \frac{\mathrm{R\,I}}{v'}$ qui doit être égal à la somme des moments des forces extérieures, qu'ils soient pris en dessus ou en dessous de la section $m\,m$.

On obtient ainsi les deux relations suivantes :

$$\Sigma \frac{\mathrm{R\,I}}{v'} = t_1\, y = \frac{\mathrm{P}\,d}{(\mathrm{H} - \lambda)}\, y \qquad \text{(Formule 7)}$$

$$\Sigma \frac{\mathrm{R\,I}}{v'} = \mathrm{P}\,d - t_1 \Big((\mathrm{H} - \lambda) - y \Big) \cos \alpha.$$

Il est facile de voir, en remplaçant t_1 par sa valeur (formule 4), que les deux expressions de $\Sigma \frac{\mathrm{R\,I}}{v'}$ sont identiques, et que la valeur maximum correspond à $\Sigma \frac{\mathrm{R\,I}}{v'} = \mathrm{P}\,d$, lorsqu'on pose $y = (\mathrm{H} - \lambda)$, c'est-à-dire quand on considère la section horizontale passant par le point d'application de la force de t_1.

Lorsque la pièce de pont est reliée sur toute sa hauteur avec la paroi-âme de la poutre, le point le plus fatigué de cette paroi correspond le plus souvent à $y = \mathrm{H} - h$, c'est-à-dire, au point où la consolidation due à la pièce de pont n'existe plus ; on a alors :

$$\Sigma \frac{\mathrm{R\,I}}{v'} = t_1 (\mathrm{H} - h) = \mathrm{P}\,d\, \frac{\mathrm{H} - h}{(\mathrm{H} - \lambda)}.$$

Lorsque $\lambda = 0$, autrement dit, lorsque la pièce de pont est seulement attachée à la plate-bande inférieure, on a la formule suivante, en appelant a le rapport $\frac{\mathrm{H}}{h}$, la formule précédente devient :

$$\Sigma \frac{\mathrm{R\,I}}{v'} = \mathrm{P}\,d\, \frac{\mathrm{H} - h}{\mathrm{H}} = \frac{a - 1}{a}\, \mathrm{P}\,d. \qquad \text{(Formule 8)}$$

---

§ 2.— Nous venons de supposer qu'il existe une entretoise supérieure au droit de chaque pièce de pont. Mais il peut arriver que l'entretoisement supérieur existe seulement au droit des appuis. Dans ce cas particulier, l'équilibre peut être obtenu si la raideur horizontale de la plate-bande supérieure est suffisante.

L'entretoise supérieure au-dessus de chacun des appuis, si elle est de section convenable, exercera une force horizontale T_2 qui est égale à $\frac{1}{2} \Sigma t_1$, ce qui revient à dire que les deux forces T_2 sont les résultantes des forces t_1.

En effet, si nous considérons l'*équilibre de l'ensemble* de la poutre et si nous prenons les moments par rapport au même axe longitudinal, on a :

$$\Sigma P d - 2 T_2 (H - \lambda) = 0$$
$$\Sigma t_1 \cos \alpha = 2 T_2$$

formules identiques, à deux des précédentes, si on pose $2 T_2 = \Sigma t_1$. On en conclut la valeur :

$$T_2 = \frac{\Sigma P d}{2 (H - \lambda)}. \qquad \text{(Formule 9)}$$

Considérons maintenant l'*équilibre de chaque portion de poutre*, soit un panneau intermédiaire, soit le panneau de l'extrémité.

1° Pour un panneau intermédiaire supportant une pièce de pont, nous aurons une figure semblable à la figure 4, sauf que la force t_1 sera remplacée par les deux réactions horizontales et transversales que les parties voisines de la plate-bande supérieure exercent sur le panneau considéré.

Du côté de l'appui, le panneau recevra une réaction transversale égale à $n\ t_1$ dirigée dans le même sens que la force t_1 du premier paragraphe, tandis que du côté du milieu de la poutre, le panneau recevra une réaction transversale $(n - 1)\ t_1$ dirigée en sens contraire. On se trouvera en définitive dans les mêmes conditions d'équilibre que précédemment, mais à la condition absolue que la plate-bande supérieure aura une raideur horizontale capable d'exercer les réactions que nous venons de considérer.

Cette plate-bande devra être constituée de façon à résister horizontalement comme une pièce qui serait appuyée à ses deux extrémités sur l'entretoisement supérieur, et chargée par des forces t_1 horizontales et

uniformément réparties. Les formules ordinaires de la résistance indiqueront si la plate-bande supérieure est pour cela suffisante.

2° Le panneau de l'extrémité, d'une longueur égale à celle de l'appui est soumis à quatre forces extérieures, savoir : la réaction Q de l'appui l'effort tranchant égal et contraire à Q que la poutre elle-même séparée de son extrémité exerce sur cette dernière, la force horizontale T_1, exercée par l'entretoisement supérieur, et enfin une réaction horizontale provenant de la raideur de la plate-bande supérieure, réaction de signe contraire à T_1, et égale, comme cette dernière force à $\frac{1}{2} \Sigma t_1$ (voir figure 5).

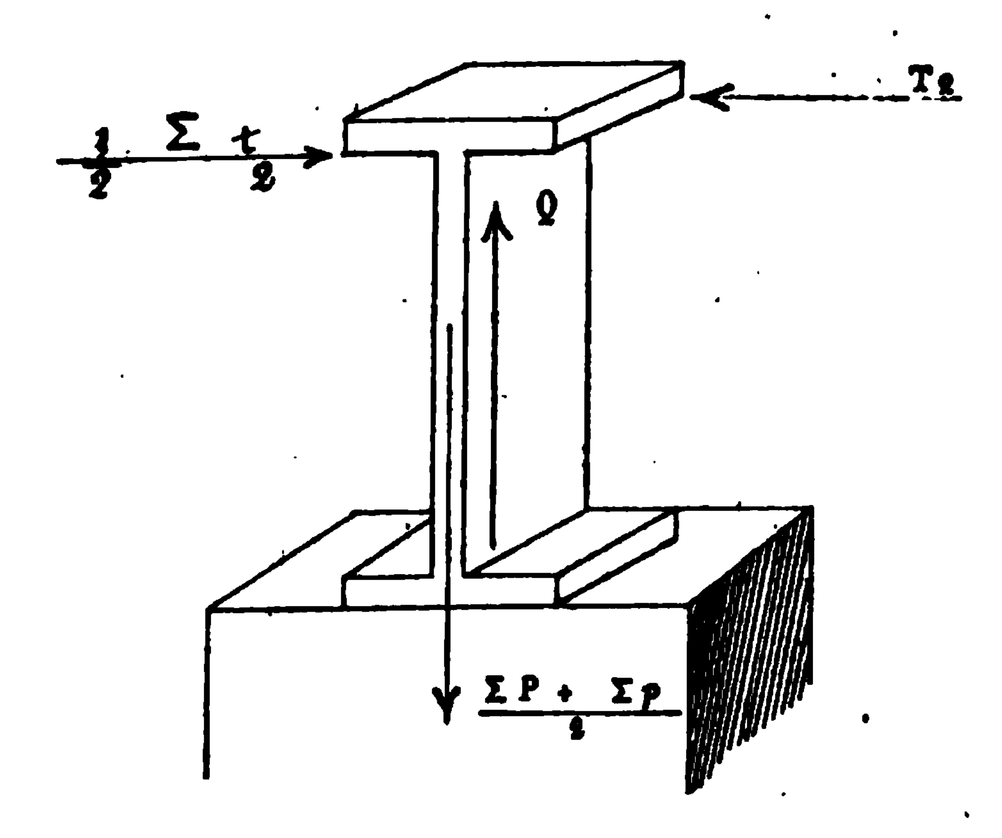


Fig. 5.

On a ainsi quatre forces égales et opposées deux à deux, qui se font équilibre et qui exercent sur le panneau de l'extrémité deux efforts tranchants, l'un vertical et l'autre horizontal. La section de la plate-bande supérieure doit être assez grande pour résister à l'effort tranchant horizontal.

DEUXIÈME CAS

Pont sans contreventement supérieur.

Nous avons vu que pour assurer la verticalité des grandes poutres, il était nécessaire de contre-balancer les moments gauchissants par deux séries de forces extérieures, développées par les pièces de pont et par les entretoises supérieures.

Lorsque l'ouvrage n'est pas muni de ces dernières pièces, il existe un moyen de développer sur la plate-bande supérieure des poutres les forces t_2 qui s'opposent à son déversement. Ce moyen consiste à établir entre les pièces de pont et la semelle supérieure une série de montants verticaux ; il est utile de les fixer sur les pièces de pont par des attaches bien disposées et suffisantes de section pour produire un encastrement du montant. Celui-ci pourra développer à la hauteur de la semelle supérieure une force t_2, s'il peut résister convenablement à la force mutuelle t'_2 égale et opposée, que la poutre exerce sur l'extrémité du montant.

Les montants verticaux peuvent donc remplacer les entretoises supérieures pour contreventer les poutres, mais ils ne sont pas aussi efficaces. En effet, les entretoises supérieures peuvent résister directement, comme des pièces chargées debout, aux forces horizontales mutuelles qui se développent à chaque contact de la poutre et d'une entretoise. Le montant faisant, pour ainsi dire, partie intégrante de la pièce de pont, suit celle-ci dans sa déformation sous les efforts fléchissants ; ils ne peut donc pas empêcher absolument le déversement de la poutre.

La figure 6 montre la forme que le tablier prendra en section transversale.

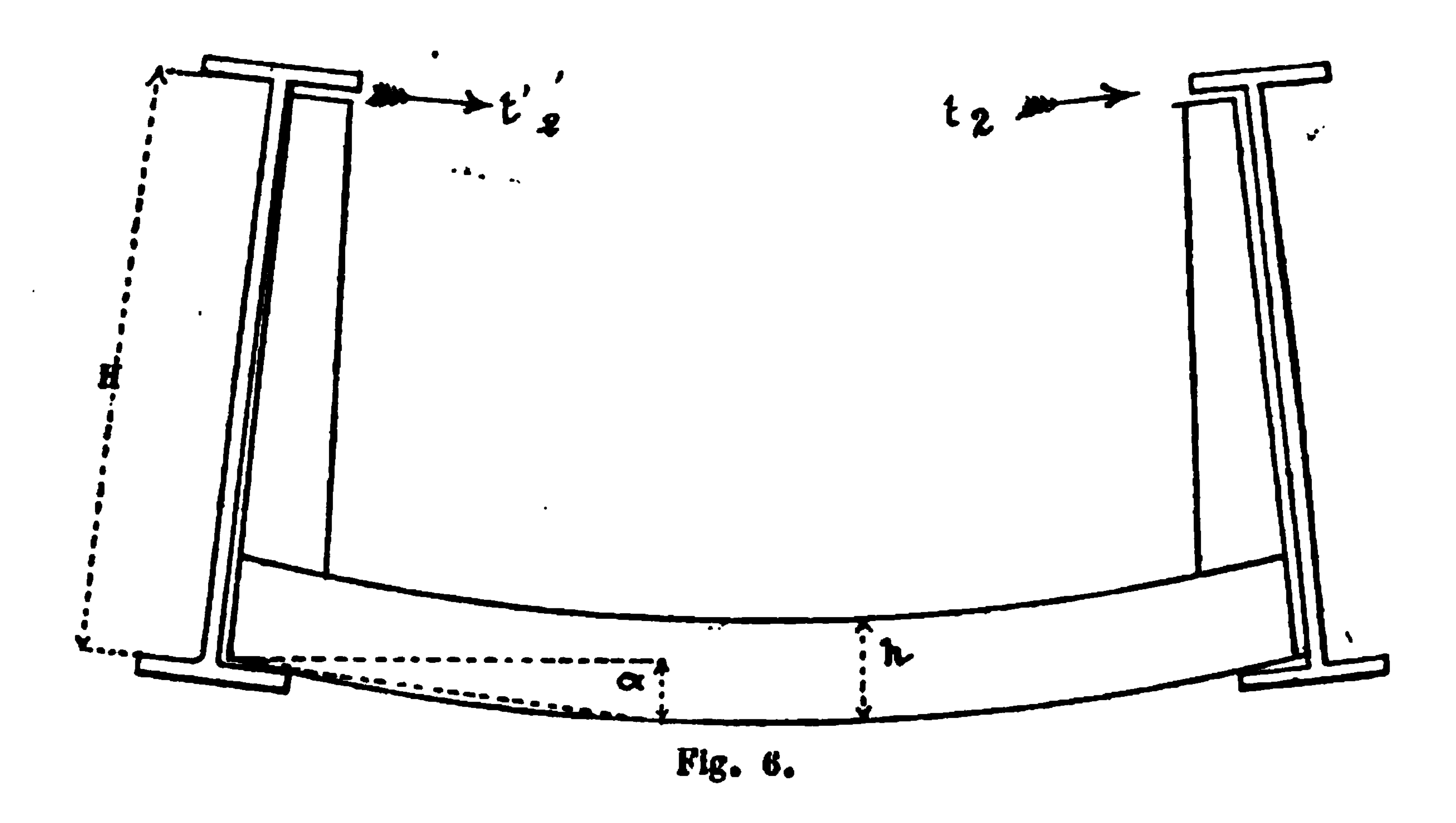


Fig. 6.

De même que les fibres des abouts de la pièce de pont ont pris un angle α avec l'horizontale, de même le montant s'est écarté de la verticale, du même angle α. Si le montant encastré est suffisamment fort, il arrêtera le déversement de la poutre qui sera ainsi limité au susdit angle.

La formule (7) déjà posée servira à calculer le montant vertical en ses différents points.

$$\frac{\mathrm{R\,I}}{v'} = t_1 y = \frac{\mathrm{P}d}{(\mathrm{H}-\lambda)} y.$$

La formule devrait subir une petite correction : la poutre n'étant plus rigoureusement verticale, la valeur de t_1 est différente de celle qui est donnée par la formule (3) ; son expression est :

$$t_1 = \frac{\mathrm{P}\ d\cos\alpha - \mathrm{P}\lambda\sin\alpha + p\frac{\mathrm{H}}{2}\sin\alpha - p\ \lambda\ \sin\alpha}{\mathrm{H}-\lambda}. \qquad \text{(Formule 10)}$$

Les pièces de treillis ne peuvent pas entrer dans la résistance, puisque le montant seul peut être considéré comme encastré sur la pièce de pont.

Au point d'encastrement, la formule de résistance est :

$$\frac{\mathrm{R\,I}}{v'} = \mathrm{P}\ d\ \frac{\mathrm{H}-h}{\mathrm{H}-\lambda}. \qquad \text{(Formule 11)}$$

Les deux précédentes expressions ont été posées dans l'hypothèse que chaque extrémité de pièce de pont porte un montant vertical, de même que dans le premier paragraphe du cas déjà considéré, nous avons supposé une entretoise supérieure au-dessus de chaque pièce de pont.

Nous pourrions, comme dans le § 2 du 1er cas, arriver à l'équilibre en ayant seulement des montants verticaux sur la partie appuyée, mais alors il faudrait la même raideur horizontale de la plate-bande supérieure. De plus, il faudrait que les montants verticaux des extrémités pussent développer une force horizontale T_1 donnée par la formule (9).

Il est indispensable pour arriver à la stabilité de l'ouvrage dans ces conditions, que les montants soient encastrés sur une partie absolument fixe. La pièce de pont extrême remplit cette condition de fixité, si on a le soin de la caler sur la culée pour éviter sa flexion ; mais il serait difficile de trouver des attaches suffisantes, si on ne prenait aussi et surtout le point d'encastrement sur la semelle inférieure de la poutre, dans la partie même reposant sur le sabot d'appui. Cette partie de la plate-bande inférieure peut être regardée comme absolument fixe.

La résistance des pièces verticales composant la paroi-âme au-dessus de chaque appui, se calculera par la formule suivante :

$$\Sigma \frac{\mathrm{R\,I}}{v'} = \mathrm{T}_1\, y = \frac{\Sigma\, \mathrm{P}\, d}{2\,(\mathrm{H} - \lambda)}\, y.$$

et en faisant $y = \mathrm{H}$, on aura la relation pour le point d'encastrement sur la semelle inférieure,

$$\Sigma \frac{\mathrm{R\,I}}{v'} = \frac{\Sigma\, \mathrm{P}\, d\, \mathrm{H}}{2\,(\mathrm{H} - \lambda)}. \qquad \text{(Formule 12)}$$

Les montants des panneaux extrêmes seront disposés d'un côté et de l'autre du plan de flexion, et bien solidarisés, de façon à présenter un moment d'inertie capable de satisfaire à la formule (11). Les rivets des attaches devront être déterminés avec le plus grand soin. Pour les montants intermédiaires, les attaches ne pourront être efficaces qu'autant que le montant existera à l'intérieur de la poutre, au-dessus même de la pièce de pont.

Les formules très simples que nous avons indiquées permettront de calculer les poutres de rive pour résister aux moments gauchissants résultant du mode d'assemblage des pièces de pont.

Une difficulté pourra se présenter dans l'application, lorsqu'il s'agira de déterminer la valeur de la distance d entrant dans les formules. Cette détermination présentera quelque incertitude lorsque la largeur de l'appui sera grande.

Nous avons vu que les fibres des abouts de la pièce de pont prennent une inclinaison α sur l'horizontale. La semelle inférieure de la poutre recevant ces abouts subira un petit mouvement de torsion, puisque, horizontale sur la culée, elle prendra successivement une petite inclinaison transversale qui ira en augmentant jusqu'au milieu où elle deviendra α. Il en résulte que ce n'est qu'au milieu que la pièce de pont s'appuiera sur toute la demi-semelle. En ce point, d sera donc égal au quart environ de la largeur de la plate-bande. Partout ailleurs, le point d'application de la force P s'éloignera du plan de flexion, et d sera plus grand, pour se rapprocher du maximum qui est la demi-largeur de la plate-bande.

Il y aura un moyen de s'éclairer ; ce sera de faire l'application des précédentes formules à un assez grand nombre de ponts existants, pour pouvoir en déduire les limites pratiques dans lesquelles il convient de rester.

DEUXIÈME CAUSE

Efforts de compression sur la plate-bande supérieure.

Nous savons que dans la flexion plane d'une pièce prismatique double T recevant des charges verticales, les fibres longitudinales sont soumises à des efforts de traction ou de compression, et lorsqu'il s'agit d'une seule travée, les fibres de la plate-bande supérieure sont partout comprimées, tandis que celles de la plate-bande inférieure sont tendues. Si nous supposons une âme évidée, nous pouvons poser [1] ;

$$\mu = \mathrm{R\,S\,H}.$$

R S, c'est-à-dire la section multipliée par le coefficient de travail R par millimètre carré, représente l'effort longitudinal C dirigé suivant la plate-bande.

$$\mu = \mathrm{C\,H}, \text{ d'où } \mathrm{C} = \frac{\mu}{\mathrm{H}}.$$

Connaissant la valeur du moment fléchissant aux différents points, on peut donc très facilement calculer les efforts de compression sur la plate-bande supérieure, efforts qui, théoriquement, sont nuls au droit de l'appui, pour être maxima au milieu de la portée, les charges étant uniformément réparties.

Si nous considérons une portion de poutre comprise entre deux points distants entre eux d'une longueur l et symétriquement placés, par rapport aux deux appuis, nous avons à droite et à gauche deux efforts égaux qui compriment la plate-bande supérieure. Or, pour un prisme

1. Note sur une formule simple pour calculer les pièces double ⌶ soumises à la flexion, par S. Périssé (Mémoires de la Société des Ingénieurs civils, 1877).

chargé debout ou comprimé suivant sa ligne moyenne, la force de compression F produisant une flèche, c'est-à-dire capable d'amener une flexion est donnée par l'expression,

$$F = \frac{\pi^2 E I}{l^2} \text{ dans laquelle}$$

$\pi^2 = 9{,}86.$

E = coefficient d'élasticité.

I = moment d'inertie minimum autour d'un axe quelconque passant par le centre de gravité.

l longueur de la pièce comprimée, tenue à ses extrémités, mais sans encastrement.

Il convient que pour une longueur quelconque l de la plate-bande comprimée, l'effort longitudinal C soit plus petit que la force F, capable de produire une flexion; si les forces C et F étaient égales, la plate-bande se déformerait et la poutre ne pourrait pas résister, à moins d'employer des pièces de contreventement ayant pour but d'empêcher la flexion horizontale. Si ces contreventements ne sont pas employés, il faut une poutre qui puisse résister par elle-même, c'est-à-dire, pour laquelle $C < F$, et par suite, satisfaisant à la relation suivante :

$$\frac{\mu}{H} < \frac{\pi^2 E I}{l^2} \qquad \text{(A)}$$

Considérons une poutre posée sur deux appuis de longueur L de hauteur H, et soumise à des charges p, par unité linéaire.

Le moment fléchissant dans les deux sections, prises de part et d'autre du point milieu, à la distance x de ce point, sera :

$$\mu = \frac{1}{2} p \left(\frac{L^2}{4} - x^2\right)$$

d'où résulte pour la compression totale de la plate-bande supérieure, dans ces mêmes sections, la valeur :

$$C = \frac{\mu}{H} = \frac{p}{2H}\left(\frac{L^2}{4} - x^2\right).$$

Nous assimilons cette plate-bande entre les sections dont il s'agit à une poutre, de longueur $2x$, pouvant fléchir horizontalement sous l'action des compressions longitudinales que nous venons de calculer;

soit E I le moment d'inflexibilité relatif à cette flexion horizontale. Nous savons par la relation (A) que cette flexion ne pourra pas exister si on a l'inégalité :

$$\frac{p}{2H}\left(\frac{L^2}{4} - x^2\right) < \frac{\pi^2 EI}{4x^2},$$

ou bien :

$$2x^2\left(\frac{L^2}{4} - x^2\right) < \frac{\pi^2 EIH}{p},$$

et l'on doit s'imposer l'accomplissement de cette condition parce que, sans cela, il pourrait se produire dans la plate-bande une grande flexion horizontale qui entraînerait le déversement de la poutre. Le second membre de la dernière inégalité doit donc toujours rester supérieur au premier, quand on fait varier x entre 0 et $\frac{L}{2}$, d'où l'on déduit sans peine :

$$L^4 < \frac{32\pi^2 EIH}{p}.$$

On obtient par là une limite supérieure que ne doit pas atteindre la quatrième puissance de la longueur L ; on arrive de cette manière à la formule,

$$L < \sqrt[4]{\frac{32\pi^2 EIH}{p}}. \qquad \text{(B)}$$

En pratique, il faut appliquer un coefficient de sécurité.

Le coefficient de sécurité est pris égal à 5 ou 6 pour le travail à la traction ou à la compression sous les charges fléchissantes ; on fait travailler le fer à 6 kilos par millimètre carré, alors que la rupture n'a lieu qu'à 30 à 36 kilos, mais il est vrai que la déformation permanente commence vers la moitié de la charge de rupture.

La formule des pièces chargées debout suppose que I est constant ; que, par conséquent, la poutre a sur toute sa longueur la même section qu'en son milieu. Or, il n'en est pas ainsi ; la section milieu est une section maxima. De plus, il faut tenir compte des imperfections de toute nature, des causes accidentelles, etc. Il faut donc admettre un coefficient de sécurité au moins égal à 2. Il est pris égal à 4 par quelques ingénieurs, pour les poteaux ou pièces comprimées suivant leur axe, mais alors ces pièces sont libres sans recevoir des réactions

des autres parties de la pièce comme dans le cas des plates-bandes de poutres de pont, pour lesquelles le coefficient 2 nous paraît admissible.

Il convient donc de poser en pratique que la compression longitudinale sur la plate-bande ne doit pas dépasser la moitié de la force produisant théoriquement une flexion, c'est-à-dire, mettant les pièces dans un véritable équilibre instable. On doit donc avoir :

$$\frac{\mu}{H} < \frac{1}{2}\,\frac{\pi^2 E\, I}{l^2},$$

ce qui revient à dire qu'il faut introduire dans la formule B, pour valeur de $32\,\pi^2\,E\,I\,H$, au plus la moitié de la valeur réelle, pour tenir compte d'un coefficient de sécurité au moins égal à 2. On arrive ainsi à la condition :

$$L \leqq 2\sqrt{\pi}\,\sqrt[4]{\frac{E\,I\,H}{p}} \qquad \text{(C)}$$

La longueur L présente les variations suivantes, lorsque le coefficient de sécurité est égal à 2 et à 4. En supposant $L = 1$ dans le cas de l'application de la formule B sans coefficient, L sera égal à 0,84 avec le coefficient 2, et L sera 0,707 avec le coefficient de sécurité égal à 4.

Dans les formules B et C, il faut prendre le moment d'inertie minimum I par rapport à un axe vertical puisque la plus grande raideur de la poutre est naturellement dans le sens vertical.

En pratique, il convient de prendre pour I la valeur $\frac{a\,b^3}{12}$, a étant l'épaisseur de la plate-bande au milieu de la portée, et b étant de largeur de cette plate-bande supérieure. La hauteur H de la poutre et la charge p par mètre courant sont des données ordinaires. Quant à E, sa valeur la plus généralement admise pour le fer laminé rivé est 18×10^9.

L'application de la formule C donne très facilement la longueur qu'il ne faut pas dépasser à moins d'avoir un contreventement supérieur ou des montants verticaux encastrés sur les pièces de pont. Ceux-ci ne pourraient pas empêcher la flexion horizontale de la plate-bande, mais suffisamment forts, ils l'arrêteraient à l'angle α dont il a été question plus haut.

Un contreventement supérieur donne seul une garantie absolue lorsque les maîtresses-poutres ont une longueur qui dépasse celle de la formule.

Dans les précédentes recherches théoriques s'appliquant à la deuxième cause de gauchissement, nous avons supposé que la seule théorie connue des pièces chargées debout était applicable dans l'espèce, ce qui est difficile à justifier.

Nous disons avec le rapporteur de la commission spéciale nommée par l'Académie des sciences, M. Bresse, l'éminent professeur de Mécanique appliquée à l'École des ponts et chaussées, que :

« Dans la théorie connue des pièces chargées debout, on suppose un « prisme soumis à des compressions égales, agissant aux deux extré- « mités suivant son axe primitif, aucune autre force n'étant appliquée « dans l'intervalle. La pièce est d'ailleurs parfaitement libre, à part « l'obligation pour les deux points extrêmes de l'axe de rester sur la « droite suivant laquelle agissent les forces de compression. Or, la « partie ci-dessus considérée de la plate-bande supérieure ne remplit « pas ces conditions puisqu'elle fait corps avec le reste de la poutre et « supporte, en conséquence, des réactions sur toute sa longueur. La « formule que M. Périssé a prise pour point de départ, ne saurait donc « s'appliquer rigoureusement, et ses conséquences n'offrent pas un « degré complet de certitude. »

Il appartient aux ingénieurs théoriciens de compléter la solution théorique du problème que nous avons étudié, et qui s'impose à l'attention des ingénieurs-constructeurs.

APPLICATION DES FORMULES

Il est intéressant de faire l'application des formules qui viennent d'être données, à un certain nombre de ponts en fer qui sont considérés pour la plupart comme très légers, et qui néanmoins ont résisté parfaitement, sans subir aucune déformation anormale.

Nous allons d'abord examiner des ponts sans contreventement supérieur.

Pont sur le Loir, à Briollay (1863).

Pont de chemin de fer, à deux voies, et à trois travées, deux de 39 mètres, une de $50^m,76$.

Deux poutres de rive, de 4 mètres de hauteur, en treillis composés uniquement de fers plats.

Au droit de chaque pièce de pont, c'est-à-dire, tous les $2^m,40$, la poutre a un montant vertical intérieur et extérieur ; la partie intérieure est consolidée par un gousset sur la pièce de pont.

Par l'application des formules relatives à la première cause de gauchissement, on trouve que le montant travaille à un coefficient de $3^k,2$ à 6 kilog. par millimètre carré, suivant que l'on prend pour valeur de d le quart environ de la largeur de la plate-bande, ou la moitié de cette largeur.

La longueur limite que donne la formule C est de $42^m,55$, tandis que la longueur de la partie comprimée d'une travée extrême est de 32 mètres.

Pont sur l'Oltezza, en Roumanie (1873).

A une voie ferrée et à trois travées; deux de $37^m,10$ et une de $45^m,98$.

Deux poutres de rive de 4 mètres de hauteur, et de $0^m,45$ de largeur aux plates-bandes, avec treillis plats et treillis nervés.

Pièces de pont de $1^m,71$ de hauteur, en treillis et espacées de $2^m,66$. Montant intérieur au droit de chaque pièce de pont, et ayant la forme d'un solide d'égale résistance.

Le coefficient de travail est de $2^k,4$ à $4^k,6$ pour le point le plus fatigué du montant; c'est-à-dire sur la pièce de pont.

La longueur limite est de $30^m,48$, tandis que la longueur de la partie comprimée est de $29^m,60$.

Le poids du tablier métallique est de 1700 kilog. par mètre courant de pont.

Pont sur l'Uruméa, Espagne (1863).

A deux voies ferrées et à trois travées, deux de $24^m,20$, une de $30^m,60$.

Une poutre médiane et deux poutres de rive avec âmes pleines. Les poutres de rive ont 2m,40 de hauteur et 0m,400 de largeur aux plates-bandes. Les pièces de pont, de 0m,450 de hauteur sont espacées de 1m,80. Au droit de chacune d'elles, se trouve un montant intérieur et extérieur avec goussets sur la pièce de pont.

Le coefficient de travail pour le montant est de 2k,6 à 5 kilog. par millimètre carré.

La longueur limite de la poutre de rive est de 23m,97, la longueur de la partie comprimée d'une travée extrême étant de 19m,30.

Pont sur la Durance, à Saint-Clément (1860).

Pont de route avec chaussée de 2m,20 de largeur, sans empierrement.

Une seule travée de 40 mètres entre culées ; deux poutres de rive espacées de 4m,30, supportant des pièces de pont en double T de 250, espacées de 1 mètre d'axe en axe. Un montant intérieur et extérieur au droit de chaque pièce de pont, avec goussets intérieurs. Le coefficient de travail pour le point le plus fatigué du montant varie de 2 kilog. à 3k,5.

La longueur limite donnée par la formule est de 28m,66.

Le poids du tablier métallique est de 70 tonnes, soit 1,650 kilog. par mètre courant de pont.

Pont sur l'Oise, à Verberie (1879).

Cet ouvrage a été construit suivant le type de ponts métalliques adopté depuis longtemps par la Compagnie du chemin du fer du Nord. Il est à deux voies, à trois travées, deux de 27m,13, et une de 35m,27.

Trois maîtresses-poutres, une médiane et deux de rive. Celles-ci ont 2m,70 de hauteur, et 0,400 de largeur de plates-bandes. Les treillis sont en fers plats.

Pièces de pont de 0m,434 de hauteur, espacées de 2m,71 d'axe en axe, avec montants intérieur et extérieur au droit de chacune d'elles. Les montants intérieurs sont munis de goussets.

Le coefficient de travail pour le montant, au point le plus fatigué, varie de 1k,2 à 2k,3.

La longueur limite donnée par la formule est de 23^m,84, la longueur de la partie comprimée est 21^m,70.

Poids du tablier, 3,700 kilog. par mètre courant de pont.

Pont sur l'Indre, à Buzançais.

Pont de chemin de fer à une voie et deux travées de 27^m,70 chacune.

Deux poutres de rive de 2^m,25 de hauteur et 0^m,300 de largeur de plates-bandes. Les treillis sont tous composés de deux cornières de dimensions variables.

Pièces de pont de 0^m,600, espacées de 1^m,60. Au droit de chacune d'elles, montants intérieur et extérieur, avec gousset intérieur de consolidation.

Le coefficient de travail varie de 3 kilog. à 6 kilog.

La longueur limite est de 20^m,13.

La longueur de la partie comprimée, 20^m,70.

Le poids du tablier est de 83 tonnes, soit 1,480 kilog. par mètre courant.

Pont sur l'Aisne, à Pommiers (1874).

Pont de route; chaussée de 2^m,30, avec 4^m,70 d'écartement d'axe en axe des poutres de rive. Tablier en bois.

Une travée de 50 mètres entre culées.

Les poutres ont une hauteur variant de 2^m,89 à 4 mètres, avec des plates-bandes de 0^m,500.

Tous les treillis sont formés par une cornière.

Pièces de pont de 0^m,450 de hauteur, espacées de 3^m,40. Il existe au droit de chacune d'elles un montant à cheval sur l'âme et ayant la forme ⌶, avec 4 cornières.

Le coefficient de travail varie de 2^k,1 à 3^k,2.

Longueur limite, 38^m,60.

Poids, 75 tonnes, soit 1,500 kilog. par mètre courant.

Pont sur l'Oise, à Bellerive (1875).

Pont de route de 40 mètres de portée, de construction analogue à celle du précédent.

Coefficient de travail variant de $2^k,5$ à $3^k,7$.

Longueur limite, $32^m,12$.

Poids 52 tonnes, soit 1,300 kilog. par mètre courant.

Pont sur la Garonne, à Pinsaguel (1879).

Ce pont, projeté et construit tout d'abord sans montants verticaux a reçu, sur la fin de 1879, un montant, de deux en deux pièces de pont. Tel qu'il est, l'ouvrage donne les chiffres suivants :

Pont de route, chaussée, 5 mètres de largeur, avec empierrement. Les deux poutres sont espacées de $7^m,42$.

Deux travées égales, de $44^m,37$, mesurées du montant sur culée au montant sur pile.

Chaque poutre de rive a une hauteur de $4^m,10$, avec une largeur de plates-bandes de $0^m,500$. Tous les treillis sont en fer simple T, consolidés par un plat aux abords de la pile.

Pièces de pont de 650 de hauteur, espacées de $2^m,61$. Un montant existe de deux en deux pièces de pont, avec partie extérieure et intérieure ; celle-ci est en forme de solide d'égale résistance.

Coefficient de travail : $1^k,4$ à $2^k,6$.

Longueur limite, $29^m,66$.

Longueur de la partie comprimée, $34^m,50$.

L'application des formules a été faite à d'autres ouvrages, et les résultats sont semblables aux précédents que nous résumons dans le tableau ci-après comprenant seulement des ponts sans contreventement supérieur.

TABLEAU COMPARATIF

des coefficients de travail des montants verticaux, en mettant en regard la longueur L *de la formule, et la longueur réelle de la plate-bande comprimée.*

DATES.	DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	1re CAUSE. TRAVAIL des montants verticaux.		2e CAUSE.		OBSERVATIONS.
		Minimum.	Maximum.	L — Longueur limite $\sqrt{\frac{32 \pi^2 EIH}{p}}$	Longueur comprimée.	
		k.	k.	m.	m.	
1863	Pont sur le Loir à Briollay...........	3.2	6.»	42.55	32. »	
1873	— sur l'Oltezza (Roumanie).........	2.4	4.6	30.48	29.60	
1863	— sur l'Uruméa (Espagne).	2.6	5.»	23.97	19.30	
1860	— sur la Durance, à Saint-Clément..	2.»	3.5	28.66	41. »	Longueur limite dépassée.
1879	— sur l'Oise, à Verberie............	1.2	2.3	23.84	21.70	
	— sur l'Indre, à Buzançais.........	3.»	6.»	20.13	20.70	
1874	— sur l'Aisne, à Pommiers.........	2.1	3.2	38.60	51.60	Longueur limite dépassée.
1875	— sur l'Oise, à Bellerive...........	2.5	3.7	32.12	41.50	Idem.
1879	— sur la Garonne, à Pinsaguel......	1.4	2.6	29.66	34.50	Idem.

Il résulte des indications du précédent tableau que le coefficient de travail pour les montants verticaux varie depuis $1^k,2$, jusqu'à 6 kilog. par millimètre carré sous les efforts gauchissants dus à la première cause, c'est-à-dire au mode d'assemblage des pièces de pont ; mais il ne faut pas perdre de vue que l'encastrement du montant sur la pièce de pont doit être réalisé, et que, pratiquement, il est possible seulement avec des dimensions correspondant à un coefficient de travail relativement faible, comme la plupart de ceux ci-dessus.

En ce qui concerne la résistance à la deuxième cause de gauchissement, quatre ponts sont constitués pour résister sans montants aux compressions longitudinales ; ce sont ceux de Briollay, de l'Oltezza, de l'Uruméa et de Verberie. Un cinquième pont, celui de Buzançais se trouve avoir précisément la longueur limite donnée par la formule.

Il reste donc quatre ponts, ceux de Saint-Clément, Pommiers, Bellerive et Pinsaguel, pour lesquels les compressions longitudinales produiraient une flèche, s'ils étaient dépourvus de montants verticaux suffisants, mais il se trouve précisément que ces pièces, dans les quatre ponts considérés, travaillent à un coefficient relativement très faible, puisqu'il ne dépasse pas $3^k,7$. Sans avoir le moyen exact de calculer les pièces pour résister à la deuxième cause de gauchissement, nous pouvons dire néanmoins, d'après les chiffres précédents, que tous les ponts énoncés au tableau se trouvent dans de bonnes conditions pour résister aux efforts gauchissants, et c'est ce qui existe en fait. Les ponts tiennent très bien.

Nous avons fait l'application de la formule C, à *onze ponts munis de contreventement supérieur* et, à l'exception de l'un d'eux, le pont sur le Scorff, près Lorient, tous ces ouvrages ne pourraient résister aux efforts gauchissants, sans les entretoises du contreventement supérieur. Pour le pont sur le Scorff, la longueur limite donnée par la formule C est de $42^m,63$, alors que la longueur comprimée est de $42^m,40$. Il y a donc égalité entre les deux longueurs, et pour ce pont-là aussi, le contreventement supérieur était donc indispensable,

En calculant par les formules 7 et 8 le travail des pièces, verticales ou non, composant l'âme de la poutre, on arrive pour les onze ponts à des coefficients qui sont en dessous des coefficients admissibles. Remarquons que dans le cas de ponts avec contreventement supérieur, les montants verticaux peuvent ne pas exister. Il suffit que les pièces du

treillis soient suffisamment nervées pour résister aux moments gauchissants.

Les entretoises du contreventement sont toutes largement suffisantes pour résister aux efforts de compression t_1 donnés par les formules.

En résumé, pour tous les ponts que nous avons considérés, les montants verticaux et les contreventements supérieurs travaillent à des coefficients peu élevés. Nous avons déjà dit que, pour les montants, l'obligation de les encastrer sur les pièces de pont avait pour conséquence de conduire en pratique à un coefficient relativement faible; mais il y a une autre raison qui s'applique tant aux montants verticaux qu'au contreventement supérieur.

Cette raison, c'est que ces pièces doivent être capables de résister aussi à l'action du vent qui exerce sur les surfaces rencontrées, des efforts dont la direction se rapproche souvent de l'horizontale et dont l'intensité peut être grande en cas d'ouragans et de violentes tempêtes.

Sans vouloir examiner comment il convient de résister à l'action des vents, on conçoit qu'il faut avoir recours précisément aux pièces que nous avons plus haut considérées et qu'ainsi les composantes horizontales des efforts dus aux vents viennent s'ajouter aux forces que nous avons déterminées.

Il nous reste à faire connaître les résultats obtenus en faisant l'application des formules à plusieurs ouvrages qui n'ont pas tenu, c'est-à-dire, qui sont tombés ou qui ont menacé de tomber avant la consolidation des pièces. Trois ponts, à notre connaissance, sont dans ce cas. Mais qu'il nous soit permis de ne parler que de deux d'entre eux, les ponts de Pinsaguel et de Miramont sur la Garonne.

Pont de Pinsaguel (construction primitive).

Il était dépourvu de montants verticaux entre la pile et la culée. Pour résister aux moments $P d$, il fallait donc pouvoir compter, d'une part, sur les montants et pièces verticales au droit des appuis, et d'autre part, sur la raideur horizontale de la plate-bande.

Valeur de $\frac{\Sigma P}{2}$ sur pile. $=$ 83,000 kilog.

id. de $\frac{\Sigma P d}{2}$ id. $=$ 10,800 kilog.

Le coefficient de travail des pièces verticales aux appuis est de 10^k,8. Si on augmente ce chiffre du chiffre de travail dû à l'effort tranchant, on arrive au chiffre égal pour ainsi dire, à la limite d'élasticité du métal.

Mais admettons à la rigueur que les pièces de l'appui soient suffisantes, il reste une condition à remplir pour l'équilibre, c'est que la plate-bande supérieure présente une raideur horizontale convenable. En effectuant les calculs, on trouve que le coefficient de travail de cette plate-bande, pour résister aux moments gauchissants Pd, est de 23 kilog. par millimètre carré, et comme la plate-bande travaille déjà à environ 6 kilog. il en résulte que pour une moitié de cette plate-bande, le travail serait égal à 29 kilog. par millimètre carré.

Le pont sans montants verticaux ne pouvait donc pas tenir puisqu'il était dépourvu d'un contreventement supérieur. La pratique est venue confirmer la théorie, car aussitôt après la construction des voûtes en briques, et avant de recevoir l'empierrement, l'ouvrage a subi des déformations telles que les travaux ont dû être immédiatement suspendus pour placer les montants verticaux dont nous avons parlé précédemment.

Pont de Miramont.

Le montant vertical prévu au projet ne peut pas être considéré comme encastré sur la pièce de pont, parce que, placé sur la face extérieure des poutres, il n'est assemblé qu'avec l'about de la pièce de pont au moyen d'attaches insuffisantes. En effet, les dispositions du rivetage doivent satisfaire aussi au moment d'encastrement. Celles qui consistent à faire l'attache à différents étages de l'âme par des rivets de section uniforme et à peu près également espacés ne peuvent réaliser pratiquement la condition d'encastrement.

Néanmoins, et en supposant le montant encastré sur la pièce de pont, le coefficient de travail est de 24^k,7 dans l'hypothèse que $d = 0^m,185$, alors que cependant, d pourrait atteindre sa valeur maxima qui est de 0^m,350, auquel cas, le travail dépasserait 45 kilog. Les chiffres précédents ont été calculés pour les charges d'épreuves composées du poids mort et des surcharges accidentelles partout admises.

En présence de l'insuffisance des montants verticaux courants, nous avons voulu nous rendre compte si les montants et autres pièces verti-

cales sur culées, combinées avec la raideur horizontale de la plate-bande supérieure ne pouvaient pas résister aux moments gauchissants P d. En effectuant les calculs, on trouve que le coefficient de travail pour les pièces verticales sur culées est de $27^k,2$, toujours dans l'hypothèse de $d = 0,185$.

La poutre ne pouvait donc pas résister à la première cause de gauchissement.

Était-elle capable de résister à la deuxième cause de gauchissement? L'application de la formule C dit encore non. En prenant pour la valeur de p dans ladite formule le poids de 5,170 kilog., représentant le poids mort et les surcharges par mètre courant, on arrive à une longueur limite qui est $46^m,62$, alors que la longueur comprimée, c'est-à-dire la portée d'axe en axe des deux appuis, était égale à $52^m,60$.

Les poutres du pont de Miramont ne pouvaient donc pas résister davantage à la deuxième cause sous les charges d'épreuve.

Nous avons voulu faire l'application de la formule C dans les conditions de charge où s'est trouvé le pont avant sa chute.

Lorsque le tablier n'avait à supporter que son propre poids métallique, tel qu'il était au moment du lancement, soit $p = 1530$ kilog., la formule donne pour longueur limite $63^m,14$. Le pont pouvait donc résister au moment de son lancement.

Plus tard, il a reçu la charge résultant des voûtes en briques, et alors la longueur limite s'est trouvée presque égale à celle du pont, et lorsque le jour de l'accident on eut apporté l'empierrement, la longueur limite s'est trouvée dépassée.

Le pont est tombé aussitôt après que les quelques pièces de bois, faisant offices de montants verticaux et d'entretoises horizontales, n'ont pas pu résister aux efforts gauchissants dont l'étude a fait l'objet du présent mémoire.

ANALYSE
DU MANUEL DES LOIS DU BATIMENT
PUBLIÉ
PAR LA SOCIÉTÉ CENTRALE DES ARCHITECTES

Par M. NIZET.

La Société centrale des architectes a publié une nouvelle édition de son manuel des lois du bâtiment[1], pour remplacer une édition primitive (1865) depuis longtemps épuisée. Cette nouvelle édition, beaucoup plus importante que la précédente, était devenue nécessaire, tant pour tenir compte de quelques modifications de la jurisprudence que, pour mettre à la portée des intéressés, un recueil complet des arrêtés et ordonnances relatifs aux constructions, à la voirie et à la salubrité, etc.

Cet ouvrage, bien qu'il ait été fait au point de vue spécial de l'architecte, c'est-à-dire de celui qui construit surtout les habitations, intéresse cependant les ingénieurs, si souvent chargés de la construction d'usines importantes ; il sera aussi prisé par les magistrats, les avocats, les avoués, les notaires, etc., fréquemment embarrassés par les questions techniques qui leur sont soumises et pour lesquelles l'étude spéciale du droit ne les a pas préparés.

Le manuel est divisé en plusieurs parties que nous allons passer en revue rapidement, en nous arrêtant seulement un instant sur ce qui offre le plus d'intérêt, il comprend :

1° Un essai historique sur la législation du bâtiment qui fait remonter jusqu'au droit romain la base des lois actuelles en montrant les modifications apportées au moyen âge, celles consacrées par l'ancienne coutume de Paris (1510), dans laquelle les auteurs du Code civil (1804) ont puisé la plupart des dispositions légales qui nous régissent actuelle-

1. Paris, Ducher et Cie, éditeurs, 5 volumes, 1879.

ment. — Cet historique rappelle les noms et les ouvrages des auteurs spéciaux commentateurs de la coutume de Paris, dont le plus célèbre Desgodetz, fait encore autorité chaque fois qu'il est nécessaire de recourir aux sources.

Cette partie d'une érudition soutenue est suivie de notes, d'extraits de coutumes locales, etc., du plus haut interêt.

2° La section suivante reproduit, par ordre de numéros, les articles du Code civil traitant spécialement :

Des biens et des différentes modifications de la propriété avec la distinction des meubles et des immeubles.

De la propriété, du droit d'accession relativement aux choses immobilières, constructions, plantations, attérissement, relais, alluvions, etc.

De l'usufruit, de l'usage de l'habitation ainsi que des droits et obligations de l'usufruitier, des réparations usufruitières, des servitudes ou services fonciers, contiguïtés, mitoyennetés, vues, passage, écoulement d'eau, distances, etc..., tant pour les propriétés rurales que pour les immeubles urbains.

Des différentes manières d'acquérir la propriété.

Des contrats et des obligations conventionnels en général.

De la vente :

Du contrat de louage et des marchés relatifs aux entreprises, les règles de la garantie et de la responsabilité de ceux qui bâtissent, celles qui régissent les baux à loyers notamment en ce qui touche les réparations locatives et celles dites grosses réparations, les dispositions applicables aux devis et marchés, etc., etc.

Du mandat et spécialement de celui conféré à l'architecte.

Des privilèges et hypothèques au point de vue du privilège de constructeur.

Et enfin de la prescription en ce qui concerne la responsabilité des constructeurs.

Ces articles du Code civil sont commentés et expliqués ; nous remarquons l'importance des commentaires et explications relatifs aux murs mitoyens, à leur mode de construction ; à la détermination de la part des intéressés dans les dépenses de construction ou de réparation, aux jambes étrières et boutisses, aux marques de mitoyenneté ou de non-mitoyenneté, à la détermination de la ligne séparative des héritages, aux droits et obligations de chacun des copropriétaires du mur mitoyen, aux surélévations, aux droits de surcharge, aux difficultés et contesta-

tions qui résultent des cas infinis qui se présentent dans la pratique. D'autres questions non moins délicates sont également traitées avec de grands développements, ce sont celles relatives aux vues droites et obliques, aux vues légales, aux jours de souffrance, etc.

De nombreuses figures aident à l'intelligence du texte.

Commentaires et figures sont dus aux membres de la commission d'élaboration du manuel choisis pour la plupart parmi les architectes experts habituellement commis par le tribunal de première instance de la Seine et dont l'opinion a toute chance de faire autorité puisque les décisions des tribunaux homologuent presque toujours l'avis des experts aux lumières techniques desquels ils ont eu recours.

Des observations spéciales indiquent les usages ayant force de loi pour les différentes parties de la France.

Ces usages locaux ont été recueillis par les membres de la Société centrale qui habitent la province et par les Sociétés d'architectes des départements; ils constituent un ensemble de documents qui n'avaient jamais été réunis avant la publication de l'ouvrage qui nous occupe.

3° Sous le titre de jurisprudence du bâtiment, sont classés les arrêts de la cour et du conseil d'État qui constituent l'état actuel de l'opinion de ces hautes juridictions.

Il est à désirer que cette série d'arrêts soit tenue à jour au moyen de suppléments, en attendant une future édition.

4° Les règlements administratifs et lois complémentaires classés par ordre de date forment une section spéciale.

Le plus ancien de ces documents est du 8 mars 1511, la série en est continuée jusqu'en 1879.

Nous remarquons comme très importantes parmi les lois complémentaires, celle du 3 mars 1841, sur les expropriations pour cause d'utilité publique. Celle des 10 et 15 juin 1854 sur le drainage et celle du 25 mai 1864 sur les logements insalubres.

La série des arrêtés préfectoraux relatifs à la voirie, à la salubrité, etc., est celle applicable dans le département de la Seine. Dans les autres départements, des arrêtés analogues ont généralement été pris à des dates postérieures.

5° La jurisprudence spéciale à la voirie est exposée à part; cette section reproduit les considérants et les décisions des arrêts de là cour de cassation, du conseil d'État et des conseils de préfecture, mais presque exclusivement de celui du département de la Seine.

6° Les coutumes locales ayant force de loi en usage dans les diverses régions de la France, ont été soigneusement données par villes. Cette section généralise l'usage du manuel en l'étendant à toute la France.

7° Une série de formules de baux, marchés à forfait et sur série de prix ou à maximum, demandes de voirie, rapports d'expert, dires des parties, etc.

8° Enfin sous le titre compléments et addenda, législation et jurisprudence, divers documents complètent jusqu'au 31 juillet 1880 les parties du manuel analysées ci-dessus sous les nos 3 et 4.

Des tables très bien faites rendent promptes et faciles les recherches souvent si pénibles dans les recueils volumineux.

On peut voir par le rapide exposé qui précède, l'importance et la valeur du manuel publié par la *Société centrale des architectes*.

Nous croyons pouvoir féliciter cette Société et en particulier ceux de ses membres qui se sont livrés à un labeur si long sans autre récompense que le sentiment du devoir accompli.

RÉSUMÉ
DES
PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES
DU MOIS DE DÉCEMBRE 1881

Séance du 2 Décembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 novembre est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de M. Raveau.

M. LE PRÉSIDENT annonce également que M. Eiffel vient d'être nommé Commandeur de l'Ordre d'Isabelle la Catholique et M. Gobert, Chevalier du même Ordre.

L'ordre du jour appelle le compte rendu par M. Ivan Flachat d'une conférence sur les caisses de retraite dans les chemins de fer, par M. Albert Jacqmin.

M. FLACHAT. Messieurs, l'institution des caisses de retraite intéresse notre Société à plus d'un titre. Parmi nos Collègues, un grand nombre sont fonctionnaires dans des administrations où sont instituées des caisses de retraite, et par conséquent intéressés personnellement au fonctionnement de ces caisses. Un grand nombre aussi, dirigeant de grandes industries qui emploient un personnel nombreux d'employés et d'ouvriers, sont amenés à étudier de près cette question, soit pour en admettre, soit pour en rejeter l'institution dans leurs établissements.

Aussi, peut-on s'étonner de la voir traitée si rarement dans cette enceinte, car, si mes renseignements sont exacts, il faut remonter jusqu'à la séance du 15 mai 1874, où M. Marché, aujourd'hui l'un de nos vice-présidents, donna communication d'un travail des plus remarquables sur les caisses de retraite; et dois-je remercier notre Président d'avoir choisi, parmi les nombreux ouvrages offerts à la Société, la conférence de M. Albert Jacqmin à la Société d'économie sociale sur les caisses de retraite

dans les administrations de chemins de fer, et de m'avoir confié l'honneur d'en rendre compte à la Société dans le plus bref délai.

La Société d'Économie sociale a été fondée en 1856, sous les auspices de M. Le Play, pour étudier, par des monographies et des descriptions de ce qui se fait à l'étranger et en France, tout ce qui peut intéresser la classe des travailleurs. Elle a été reconnue d'utilité publique le 15 mai 1869, et tient des séances chaque année pendant la saison, soit de février à juin. Les monographies sont des plus intéressantes.

Le travail de M. Albert Jacqmin dont j'ai l'honneur de vous rendre compte, diffère de celui de M. Marché, que la Société possède dans ses archives, sous deux aspects principaux. D'abord, il est plus moderne; depuis 1874 beaucoup de modifications ont été apportées par les compagnies de chemins de fer français dans les règlements des caisses de retraite, elles en apportent, pour ainsi dire, tous les jours, et certaines modifications ont été votées par leurs actionnaires dans leurs dernières assemblées générales de cette année-ci.

L'auteur nous donne la note exacte de ce qui existe aujourd'hui. Mais son travail comprend, en plus, des documents relatifs aux caisses de retraite à l'étranger. Les sociétés dont il s'est occupé sont nombreuses: les administrations des chemins de fer de l'État belge, de l'Alsace-Lorraine, du Wurtemberg, de la Bavière; la Société Élisabethbahn, la Société autrichienne des chemins de fer de l'État, et la Compagnie du sud de l'Autriche. Vous remarquerez que toutes ces administrations fonctionnent dans la région de l'Est.

M. A. Jacqmin ayant été chargé d'une mission spéciale pour étudier les modifications qu'on pouvait apporter aux règlements existants de la Compagnie de l'Est, a dû s'adresser aux administrations voisines, c'est-à-dire à celles dont le personnel, par ses convenances et par ses mœurs, se rapproche le plus de celui de la Compagnie de l'Est.

Néanmoins, au point de vue de l'instruction générale, il y a peut-être une lacune regrettable dans son travail; il ne donne pas de renseignements relatifs à l'Angleterre, dont les mœurs si libérales, si indépendantes, doivent donner à cette question des caisses de retraite un de ses côtés les plus intéressants.

M. Flachat demande la permission d'appeler l'attention de ses Collègues sur ce point: celui d'entre eux qui pourrait être conduit par ses occupations ou ses loisirs et ses relations, à faire une monographie des caisses de retraite établies dans le Royaume-Uni, rendrait un véritable service à ceux que cette question intéresse.

M. A. Jacqmin divise son étude en plusieurs points. Le premier chapitre traite de ce qui est relatif à la constitution du fonds de la caisse. Le second est consacré au mode de gestion des caisses de retraite. Le troisième traite des conditions exigées pour obtenir la retraite. Le quatrième chapitre concerne le montant et le mode de payement des retraites; le cinquième est relatif aux pensions des veuves et aux secours aux orphelins. Enfin, le

sixième est consacré aux questions techniques, c'est-à-dire au calcul financier des annuités à recevoir ou à payer.

La constitution des fonds de la caisse, qui fait l'objet du premier chapitre, est assez complexe. Les fonds des caisses de retraite, à l'origine, étaient à peu près exclusivement formés des retenues imposées au personnel. Cette constitution présentait plusieurs inconvénients; d'abord, elle était insuffisante; en second lieu, elle était impopulaire, elle inspirait une sorte d'inquiétude aux ouvriers et à la classe peu éclairée des employés.

Pour en citer un exemple, je rappellerai qu'au Creusot, lorsqu'on a supprimé les retenues exercées sur les salaires, la population a illuminé spontanément. Quelques années plus tard, l'administration persévérant dans la même voie libérale, décida l'augmentation des pensions de retraite, ce qui ne donna lieu à aucune manifestation du même genre.

Certaines administrations ont donc pris le contre-pied de cette première manière de faire, et plusieurs compagnies ont pris complètement à leur charge le service de la retraite.

Entre ces deux extrêmes, se placent beaucoup de moyens termes.

Parmi les administrations qui maintiennent les retenues, il en est qui font une retenue dès le premier traitement; elles prélèvent un tant pour cent régulier sur le montant des traitements de tous les employés, mais ce tant pour cent varie de l'une à l'autre : c'est 1, 2, 3 pour 100, et quelquefois plus. Quand un employé reçoit une augmentation, certaines administrations réservent pour la caisse des retraites les premiers mois d'augmentation : les unes, un mois, les autres deux, d'autres trois, et quelques-unes les six premiers mois.

Certaines retenues sont supportées plus facilement que d'autres : celles sur les augmentations sont les plus faciles à supporter.

Une autre source de recettes vient des intérêts des fonds disponibles; puis une autre, des dons et legs. Enfin, dans certaines compagnies autrichiennes et allemandes, on trouve des ressources telles que celle-ci : la vente des cartes conférant le droit de circuler dans les gares; le produit de la vente des récoltes faites sur les talus; le droit d'affichage dans les gares, etc., etc.

En définitive, ce sont toujours des subventions accordées par les compagnies. Ainsi, que d'une façon ou d'une autre, les administrations apportent l'argent, qu'on intéresse les actionnaires par un prélèvement fixe ou par l'imputation d'une recette accessoire, il y a toujours là une contribution de la compagnie.

Quant au *mode de gestion des caisses de retraite*, on trouve encore des différences.

Quelques administrations, conservant leur autonomie, nomment elles-mêmes le haut personnel chargé de la caisse; d'autres admettent l'immixtion de quelques délégués nommés par le personnel pour participer à la gestion de la caisse et exercer une sorte de contrôle. Ce contrôle est plutôt moral; il a pour but de rassurer les ouvriers et d'écarter tout prétexte à la méfiance.

Cette gestion est assez délicate, car une caisse de retraite ne pourrait être confiée exclusivement au personnel, qui est changeant. Les inconvénients inhérents à cette immixtion, sont les mêmes que pour les autres institutions de bienfaisance, telles que les caisses de secours; la gestion partagée entre l'administration et les ouvriers a eu des inconvénients tels, que plusieurs administrations ont préféré renoncer à la retenue exercée sur les salaires, s'affranchir complètement de toute participation des délégués ouvriers dans la gestion de ces fonds, et ôter ainsi, de ce côté, tout prétexte à des grèves.

Les conditions exigées pour obtenir la retraite qui font l'objet du chapitre suivant, sont très variables d'une compagnie à une autre.

Les années de service exigées pour avoir droit à la retraite ne sont pas en nombre égal partout : certaines compagnies exigent vingt ans, d'autres vingt-cinq, d'autres trente. L'âge varie également dans de très grandes proportions. Pour avoir droit à la retraite, il faut avoir cinquante, cinquante-cinq, soixante, soixante-cinq ans suivant les diverses compagnies. Il y a même à l'étranger des administrations pour lesquelles les droits à la retraite ne s'ouvrent jamais que suivant ce qu'elles décident elles-mêmes.

Ainsi « un agent allemand ou autrichien ne peut généralement être mis « à la retraite qu'en cas d'incapacité de travail absolue, ou à un âge fort « avancé, et même, dans certains cas, un agent retraité dont la santé viendrait à s'améliorer, peut être mis en demeure de reprendre son service. »

L'incapacité de travail donne aussi ouverture à la retraite, dans la plupart des compagnies de chemin de fer. Il en est qui exigent que l'employé ait au moins dix ans de service; dans d'autres, il n'y a pas de durée fixée, ni aucun âge déterminé, et quelques administrations se sont réservé le droit de prononcer la mise à la retraite anticipée d'agents qui, sans remplir les conditions des statuts, leur paraîtraient dans l'impossibilité de continuer leur carrière.

Il est assez difficile, d'après cela, d'établir une formule s'appliquant à toutes ces conditions diverses, et l'on ne peut guère fixer d'avance les sommes nécessaires pour faire face à une caisse de retraite.

Le montant et le mode de payement des retraites, sont aussi très variables. On donne souvent la moitié des derniers traitements ; mais généralement, les administrations modifient ce chiffre en raison des années de service. En outre, non seulement le nombre de ces années de service varie, mais aussi le coefficient par lequel on multiplie leur nombre : c'est quelquefois 1/80, 1/60, 1/50 du traitement et par année de service. Le calcul est donc assez compliqué et n'est pas le même pour toutes les compagnies.

Dans le chapitre IV, M. Albert Jacqmin donne avec détail ces chiffres pour les compagnies françaises, l'Alsace-Lorraine, l'État belge, Bade, la Bavière, l'Autriche, le Wurtemberg; tous sont différents.

« Les pensions de retraite sont presque toujours des rentes viagères,

« payables par trimestre ou par mois. L'Alsace-Lorraine et le Wurtemberg « payent mensuellement et d'avance. »

Ici, M. A. Jacqmin émet le vœu de modifier la pratique ordinaire en France, en appliquant le système de M. de Courcy, directeur de la Compagnie d'assurances générales, au règlement des pensions de retraite. Ce système consiste à transformer la pension réglée en fin de service en une somme qui constitue un patrimoine. M. de Courcy reproche à la caisse de retraite pour la vieillesse qui est dans les mains de l'État, de ne donner qu'une rente viagère.

Le père de famille, en mourant, emmène malheureusement avec lui sa pension, sauf ce qui est imputable à la veuve et aux orphelins. Ce n'est pas ainsi, dit M. de Courcy, qu'on doit apprendre au père de famille à prendre souci des siens. Il préfère lui laisser la faculté de ne prendre qu'une part relativement peu importante de la somme qu'il s'est constituée sous forme de patrimoine et laisser à son compte, en disponibilité, un capital qui pourrait être payé à ses héritiers. Si, par exemple, l'employé a droit à une rente viagère, correspondant à un capital de 15,000 francs, M. de Courcy voudrait qu'au lieu de la rente à laquelle il a droit, 8, 10 ou 11 pour 100 suivant l'âge du retraité, celui-ci se contentât de l'intérêt de cette somme. De cette façon, le capital resterait intact.

M. A. Jacqmin insiste sur cette idée et voudrait voir insérer dans les statuts des caisses de retraite cette faculté d'exiger la rente viagère, ce qui pourrait convenir à l'employé retraité sans famille, ou bien le second mode de règlement qui laisserait intact le capital à la famille.

Ceci nous amène à l'article V, qui concerne *les pensions des veuves et les secours aux orphelins*. Là, les règlements varient, mais presque tous sont d'accord pour exiger le certificat de mariage, et non seulement il faut que le mariage soit justifié, mais il faut qu'il remonte à un certain nombre d'années; car, autrement, un employé non marié pourrait attendre sa dernière maladie pour régulariser sa position, ou s'attacher une jeune femme, laquelle pourrait devenir une charge assez longue pour la compagnie, sans avoir partagé avec son mari le dévouement de nombreuses années de service.

Il y a dans la situation des veuves, beaucoup de cas particuliers; ainsi la veuve peut survivre à son mari retraité ou à un mari non retraité. Tous ces cas sont prévus, et les règlements en sont assez compliqués; l'auteur les résume en plusieurs paragraphes intéressants. Quant à la quotité de pension à donner à la veuve, elle est variable, c'est le tiers ou la moitié de la pension à laquelle a droit le mari, d'autres fois la pension est basée sur le dernier traitement du défunt, elle varie de 15 pour 100 en Belgique, à 33 pour 100 à l'Élisabethbahn.

« Les pensions des veuves sont habituellement supprimées en cas de « nouveau mariage. Cette disposition a été supprimée dans le nouveau « règlement de la Compagnie de l'Est, comme pouvant, dans certains cas, « porter une femme à vivre dans le désordre. »

« L'allocation de secours aux orphelins forme un complément naturel aux « règlements de retraite, et dans cet ordre d'idée, le système des administra- « tions belges, allemandes et autrichiennes qui tient compte dans une cer- « taine mesure des charges particulières de chaque famille, paraît supérieur « à celui des Compagnies françaises qui donnent aux veuves une pension « uniforme sans se préoccuper du nombre d'enfants qu'elles peuvent avoir « à élever. »

Je ne voudrais pas terminer sans dire un mot de la discussion suscitée à ce sujet à la Société d'économie sociale : M. de Malarce a parlé avec détail de ce qui se fait à la Société du Lloyd, dont le siège est à Trieste. Il cite la manière dont cette Société règle les pensions de retraite. Il paraît que le Lloyd pratique le système conseillé par M. de Courcy : « L'employé peut « demander à l'Institut de lui remettre, au lieu d'une pension viagère, « un capital représentant la valeur actuelle de la pension à servir.

« L'Institut, pour évaluer ce capital, ne se borne pas à faire un simple « calcul, en ramenant à sa valeur actuelle la charge qui d'après la table de « mortalité incombe à l'Institut pour la rente viagère à servir au deman- « deur; il fait entrer en ligne de compte, à côté de cette valeur, une « appréciation de la personne physique et morale du retraité; et en exami- « nant le rapport des médecins de la compagnie, les notes sur la vie plus « ou moins sobre et régulière de l'employé, les notes sur la fréquence de « ses jours de maladie depuis plusieurs années, il fixe une estimation de la « vie probable du demandeur; sur ce, il détermine le capital qui, actuel- « lement, devrait être placé pour servir la pension déterminée pendant la « durée probable des années à vivre, et il offre ce capital au demandeur, « qui peut, ou le refuser et rester dans les termes du contrat de sa pension « viagère, ou l'accepter, et dès lors donner quittance à l'Institut de toute « obligation de pension. »

Il y a là une pratique arbitraire, qui ne serait guère goûtée par les employés de notre pays.

M. A. Jacqmin vient ensuite à la *question théorique des caisses de retraite.* Cette question n'est pas nouvelle pour vous, puisque dans la séance du 15 mai 1874, M. Marché a donné les formules qui peuvent servir de base aux calculs des sommes données par les diverses compagnies.

Il en résulte que « l'employé livré à lui-même et se chargeant seul « d'assurer son avenir devrait épargner annuellement 12,5 pour 100 de « son traitement pour se constituer à l'âge de cinquante ans, après vingt- « cinq ans de service et d'épargne, une pension viagère égale à la moitié « de son traitement moyen. Ce chiffre montre la nécessité de l'intervention « des compagnies, et si on en rapproche le taux des retenues et des verse- « ments stipulés dans les règlements des caisses instituées, et qui varie « pour les deux éléments réunis de 4 à 8 pour 100, il démontre la nécessité « d'accroître les ressources de ces caisses par des mesures spéciales. »

Tel était l'état de la question en 1874. Depuis lors, les compagnies de chemins de fer français n'ont cessé de modifier les ressources et les règlements de l'organisation des caisses de retraite. Il serait superflu d'ajouter que ces modifications ont été toujours faites dans le sens libéral, et que les compagnies ont eu surtout en vue d'augmenter les ressources disponibles.

M. A. Jacqmin, a présenté des calculs aussi, non sous la forme algébrique que M. Marché leur a donnée, mais sous la forme de courbes et de tableaux calculés avec plusieurs variables ; car il a tenu compte de la variabilité des traitements. Il commence avec un traitement de 1,100 francs, successivement porté à 1,200 francs, puis à 1,500 francs et au-dessus. La série est complète, et les résultats parlent aux yeux.

« On peut ainsi comparer, année par année, les rentes viagères obtenues « au moyen des épargnes annuelles avec les retraites prévues, et l'on trouve « qu'avec l'épargne la plus forte, celle de 15 pour 100, ce n'est qu'à trente- « huit ans de service, et soixante-cinq ans d'âge pour l'agent célibataire, « quarante-trois ans et soixante-dix ans d'âge pour l'agent marié, que la « rente viagère obtenue est équivalente aux charges réglementaires.

« L'épargne annuelle se compose des retenues opérées sur les traite- « ments, des subventions de la compagnie et du bénéfice annuel moyen « résultant des radiations par suite de démissions, révocations, ou décès « des agents qui meurent avant d'avoir acquis de droits à la retraite. Ce « dernier élément de recettes dépend complètement de la rédaction du « règlement. »

Les retenues en général, sont un peu moins fortes ; il en est résulté, pour plusieurs personnes, la crainte d'un déficit. On s'est attaché à démontrer combien les caisses de retraite de l'État et les pensions civiles pourraient entraîner de graves conséquences au bout d'un grand nombre d'années. Dans la discussion qui a suivi la communication de M. A. Jacqmin, M. Cheysson cite des chiffres qui sont véritablement formidables, et que vous trouverez facilement dans la brochure. Il en tire une conséquence que je vous demanderai la permission de vous signaler.

En disant que la question des caisses de retraite est à l'ordre du jour, il convient que « la caisse des retraites ne figure pas parmi ces pratiques « essentielles qui sont le signe et la mesure de la santé sociale dans les « ateliers, elle doit être reléguée au second plan au point de vue des prin- « cipes. La meilleure caisse des retraites est celle que M. de Malarce appelle « excellemment « *la caisse de famille.* » Oui, quand le travail est bien orga- « nisé, la vieillesse de l'ouvrier et du paysan se trouve assurée sans combi- « naison spéciale. La famille et le patronage y pourvoient suffisamment. « Arrivé au terme de sa carrière, le vieillard est entouré du respect et de « l'affection des siens et meurt dans leurs bras sous ce toit domestique où « ses ancêtres ont rendu le dernier soupir, et qui abritera le berceau de ses « petits enfants. Avec de pareilles mœurs, que viendraient donc faire de

« savants systèmes de retenue, de caisse, de subventions ? Ces expédients « n'y sont pas plus de mise que les crèches pour les petits enfants et les « asiles pour les orphelins, tant il est vrai que la Société s'épuise en efforts « immenses, en véritables travaux d'Hercule, pour suppléer cette chose si « simple, mais si grande et si forte : la famille.

« Toutefois, après avoir ainsi rendu hommage aux principes, on ne peut « nier que nous ne sommes plus au temps où le problème de la retraite « était résolu sans bruit, sans qu'on parût même s'en douter. Il y a aujour- « d'hui la question des « invalides du travail, » question terrible et dou- « loureuse pour qui a vu de près les souffrances infligées à l'ouvrier par la « vieillesse et les infirmités qu'elle traîne après elle ! »

D'un autre côté, M. Albert Jacqmin dit que pour certaines personnes, la véritable caisse de retraite c'est la famille. Il s'exprime ainsi :

« Le vieillard doit retrouver chez ses enfants les soins qu'il leur a « prodigués dans leur jeunesse, et ce n'est pas à un étranger qu'il doit « aller demander le pain de ses vieux jours. J'ai entendu notamment « l'honorable M. de Malarce soutenir cette thèse avec beaucoup de chaleur.

« Ce n'est pas moi qui me permettrai jamais d'attaquer l'institution « sacrée de la famille ; le lieu serait d'ailleurs mal choisi. Nous partageons « tous ici les convictions de notre illustre maître, M. Le Play, le grand « apôtre de la famille. Mais cette famille chrétienne de M. Le Play, dont « tous les membres se soutiennent les uns les autres, où les enfants sont « élevés dans la crainte de Dieu et le respect du père, où les trouvons-nous « aujourd'hui ? Hélas ! les sentiments de respect sont bien affaiblis dans « notre pauvre France ; peut-être reviendront-ils un jour. Espérons-le, « et surtout efforçons-nous d'y contribuer chacun pour notre part ; mais « en attendant, faut-il laisser le vieillard dans l'indigence ? Vous ne le « pensez pas.

« Conservons donc nos caisses de retraite pour répondre aux nécessités « du moment.

« Nous pouvons d'ailleurs enlever dès aujourd'hui ce caractère égoïste « qu'elles présentent : il suffit pour cela d'adopter le mode de liquidation « de la Compagnie d'assurances générales. Cette transformation, nous ne « saurions trop le répéter, peut se faire à toute époque, pour toutes les « caisses. La retraite accordée sous forme de rente viagère, correspond au « sacrifice d'un capital déterminé ; donnez à l'agent la possibilité de laisser « ce capital à sa famille. Les caisses de retraite deviendront ainsi de vé- « ritables institutions d'épargne, permettant à tout agent de constituer « en faveur des siens un certain patrimoine ; au lieu de nuire à l'esprit de « famille, vous aurez contribué à son relèvement, et vous aurez fait œuvre « utile au point de vue de la réforme sociale. »

Si, de l'étude si intéressante de M. Albert Jacqmin et de la discussion qui en a suivi l'exposé à la Société d'économie sociale, nous détachons

un instant nos regards pour jeter un coup d'œil d'ensemble sur l'institution des caisses de retraite, nous constaterons, tout d'abord, sa connexion avec les institutions d'assurances sur la vie.

Si le système était ramené à ceci : placer une somme constante ou variable chaque année, pendant un certain temps; pour, au bout de ce temps, retrouver une somme payable, soit en une rente viagère, soit en un patrimoine, suivant le système de M. F. de Courcy; le problème pourrait se présenter d'une manière fort critiquable.

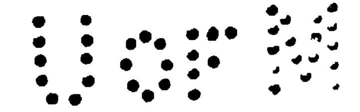
On pourrait trouver d'abord, que les compagnies d'assurances font, en général, payer fort cher leur sécurité, en donnant un très faible intérêt aux sommes qui leur sont confiées, et conviennent fort médiocrement à l'employé aisé; en second lieu, que la mise en tutelle du citoyen imprévoyant, et le manque d'initiative qui en est la conséquence, atrophie en lui une des facultés les plus précieuses de l'homme, celles que les Américains apprécient plus peut-être que les autres peuples, et traduisent par : « Go a head. » Allons en avant, et ne comptons que sur nous-mêmes!

Mais l'institution des caisses de retraite se présente aussi sous un autre jour; et la plupart de nos compagnies de chemins de fer, en ajoutant aux fonds de la caisse, la plus grosse part, font une œuvre morale en encourageant l'économie par une prime considérable, et se constituent ainsi comme la seconde famille d'un personnel fidèle et dévoué. Cependant la retenue sur les salaires ne laisse pas que d'être, en général, endurée presque à contre-cœur; tandis que les secours accordés au veuvage et à la vieillesse par les patrons et les administrations produisent toujours le meilleur effet sur la population ouvrière.

Si donc la véritable solution du problème des relations entre les patrons et les ouvriers est vraiment celle indiquée dans l'excellente « Étude sur le travail » de notre ancien président, M. S. Mony, dont j'ai eu l'honneur de rendre compte à la Societé, en 1878, c'est-à-dire dans toutes les mesures qui tendent à établir entre eux une confiance et une affection réciproques; on ne pourra qu'approuver la voie dans laquelle les administrations de chemins de fer semblent entrer de plus en plus largement : réduire les retenues sur les salaires à leur minimum et quelquefois à zéro, et prendre à leur charge le service des retraites aux employés et ouvriers qui leur ont consacré pendant de longues années, leurs forces, leurs facultés, leur dévouement et leur vie quelquefois.

M. le Président. Vous venez d'entendre le compte rendu que M. Ivan Flachat vient de faire du travail de M. Albert Jacqmin sur les caisses de retraite dans les compagnies de chemins de fer, système qui peut être appliqué à toutes les administrations. Cette question est très importante et a besoin d'être discutée; mais, la discussion ayant besoin d'être préparée, nous la remettrons à une autre séance.

M. Mayer croit qu'en effet la question est grave et importante, et que la discussion prendra une certaine ampleur. Il faut faire attention, lorsqu'on



s'occupe du règlement d'une caisse de retraite, à une foule de questions et malgré les développements dans lesquels M. le rapporteur est entré, il a été obligé d'en laisser plusieurs dans l'ombre. M. Mayer croit néanmoins qu'on pourrait dire dès à présent un mot de ce qui se passe en Angleterre. M. Flachat exprimait tout à l'heure le regret de n'avoir pas trouvé dans le travail de M. Jacqmin de renseignements sur les caisses de retraite anglaises; la réponse est bien simple : l'Angleterre est le pays de la liberté et de l'initiative individuelle, il en résulte que les individus s'y assurent eux-mêmes, et par conséquent les compagnies n'ont pas besoin de s'occuper d'eux pour leur assurer des pensions de retraite. M. Mayer pense qu'on trouverait là fort peu de caisses de retraite, ce pays n'étant pas organisé comme le sont notamment certains pays allemands où, dans ces derniers temps, il a été question de la constitution d'une caisse de retraite pour tous les ouvriers de la nation. L'Angleterre est à l'extrémité opposée de cette sorte d'échelle, et nous, nous nous trouvons vers le milieu.

M. Nordling. M. A. Jacqmin a bien fait de rassembler des documents sur ce qui se passe non seulement en France mais aussi à l'étranger. Il est toujours intéressant de savoir ce que font les autres; mais je crois qu'il ne faudrait pas chercher à tirer de ces différents systèmes une formule unique s'appliquant à tout le monde. M. Mayer vient de dire que les mœurs sont différentes en Angleterre. De même il serait contraire au but de l'institution des caisses de retraite d'appliquer à une nation si éminemment portée vers l'épargne, comme la France, la même règle qu'à des peuples qui n'ont pas le goût de l'épargne, qui pensent si peu à l'avenir que les administrations sont bien forcées de se mettre un peu à la place de leurs agents et de penser à ce qui arrivera quand ils seront devenus impotents.

M. Cotard. Permettez-moi d'insister sur l'intérêt qu'il y aurait à étudier ce qui se passe en Angleterre. La question n'est pas tant de chercher quelle est l'organisation de ces caisses de retraite, que de savoir quel est le sens élevé, le sens philosophique de ces institutions. Il y a dans les doctrines actuelles une analogie singulière avec le socialisme d'État dont on vient de parler, qui existe en Prusse, et qui tend à créer cette multitude de sociétés, de bienfaisance, de prévoyance, de caisses de secours ou de retraite, et qui a pour résultat de substituer à l'initiative de chacun, le patronage d'une collectivité anonyme. Je crois que c'est malheureux; je crois qu'il faut examiner s'il ne conviendrait pas plutôt de marcher vers la suppression de ces institutions. J'exprime donc le désir que M. le rapporteur, quand cette discussion reviendra à une prochaine séance, veuille bien apporter quelques informations nouvelles et plus étendues sur le fonctionnement de ces institutions en Angleterre; car c'est là qu'on peut étudier le mieux les effets de l'initiative privée, et il importe de les comparer à ce qui se passe dans les pays qui suivent une direction tout opposée, comme la Prusse et la France.

M. Mayer. La France n'est pas dans le cas de l'Allemagne : on y trouve

des associations, et ces associations étaient devenues indispensables; en France l'assurance n'est pas individuelle, et les individus s'assurent très peu; il s'agissait de parer au mal présent: et le mal présent était énorme, les caisses de retraite ont été une action bienfaisante exercée sur les employés, les bons services des agents se sont accrus, dès qu'ils ont été tranquilles sur leur avenir.

M. le Président remercie M. Flachat d'avoir bien voulu faire cette analyse : elle nous donnera l'occasion, dans une prochaine séance, de discuter cette question d'une manière plus complète.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Périssé, sur le *Gauchissement des poutres des ponts en fer et le calcul des contreventements.*

M. Périssé expose les recherches théoriques qu'il a faites sur cette question encore inexplorée, à l'occasion d'une expertise ordonnée à la suite de la chute d'un pont sur la Garonne, à Miramont, et s'il n'a pas présenté plus tôt des études qui datent de deux ans bientôt, c'est qu'il convenait d'attendre l'issue du procès engagé. Il y a aujourd'hui chose jugée; le rapport des experts a été homologué.

Pour mieux faire comprendre l'intérêt de sa communication, M. Périssé explique d'abord comment et pourquoi l'accident du pont de Miramont est arrivé.

Ce pont exécuté pour le passage d'une route départementale, comprenait une seule travée de 52m,60 de portée. La partie métallique se composait essentiellement de deux maîtresses-poutres de 5 mètres de hauteur et en treillis reliées à leur partie inférieure par des pièces de pont espacées de 3m,60, et portant quatre cours de longerons. La voie charretière de 5 mètres de largeur devait être établie sur voûtes en briques. La largeur du tablier était de 7 mètres d'axe en axe des maîtresses-poutres.

Après avoir décrit l'ouvrage et les circonstances de l'accident, M. Périssé présente les photographies du pont écroulé. Il est incontestable que la chute s'est produite par suite du gauchissement ou flambage des poutres de rive.

Ces poutres cependant avaient été calculées comme on a l'habitude de le faire, pour résister aux efforts tranchants et aux moments fléchissants; elles remplissaient toutes les conditions voulues par les règlements, mais elles sont tombées parce qu'elles ne pouvaient pas résister aux *moments gauchissants* signalés par M. Périssé.

Deux causes tendent à gauchir les poutres des ponts en fer, ce sont : 1° le mode ordinaire d'assemblage des pièces de pont; 2° les compressions longitudinales exercées sur la plate-bande supérieure des poutres.

Dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences, qui en a inséré un extrait dans ses comptes rendus du 14 juin 1880, M. Périssé a traité la partie purement théorique. Il en fait l'exposé devant la Société et détermine les principales formules qu'il a indiquées pour munir les ponts en fer des pièces nécessaires pour les contreventer, soit dans le plan

vertical, soit dans le plan horizontal, et empêcher ainsi le déversement des poutres en assurant leur verticalité.

Le mémoire de M. Périssé a eu l'honneur d'être l'objet d'un rapport approuvé par l'Académie des sciences, émanant de la Commission spéciale nommée par elle. Ce rapport ne soulève aucune objection grave sur les recherches théoriques de l'auteur du mémoire, et si celui-ci n'a pas donné la solution théorique complète de la question, du moins il a fourni des éléments pour y arriver.

Après son exposé théorique, M. Périssé donne l'application de ses formules à un certain nombre de ponts en fer.

Pour les uns et ils sont nombreux, de types assez différents, pour la plupart remarquables par leur légèreté, les formules disent qu'ils doivent très bien résister aux efforts gauchissants, et c'est ce qui existe en fait. Ces ponts tiennent très bien.

Pour trois autres ponts l'application des formules indique qu'ils ne doivent pas tenir, et de fait ils n'ont pas tenu. L'un d'eux est tombé, le pont de Miramont, et pour les deux autres il a fallu absolument faire l'addition ou les renforcements des pièces, destinées à résister aux efforts gauchissants, dont l'étude a fait l'objet du mémoire de M. Périssé.

M. le Président remercie M. Périssé de sa communication sur cette question très intéressante du gauchissement des poutres des ponts métalliques. Les applications indiquées au cours, de cette étude, montrent toute l'importance de ces recherches.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Létrange sur l'application de l'électricité à la métallurgie du zinc.

Depuis bien des années, de nombreuses tentatives ont été faites pour remplacer le procédé de réduction des minerais de zinc, actuellement en usage, par un autre plus économique.

Le procédé chinois, importé en Angleterre et depuis longtemps abandonné, aussi bien que les procédés silésiens ou belges, ne diffèrent que par la forme et la dimension des appareils. Tous consistent à maintenir pendant un temps prolongé, le minerai de zinc oxydé, mélangé avec du charbon, dans des moufles, cornues ou creusets, à une température élevée par un chauffage extérieur.

Le charbon de mélange s'empare de l'oxygène du minerai, pour former de l'oxyde de carbone, avec lequel le zinc distillé s'échappe, pour venir se condenser dans des appareils multiples, où on le recueille par faibles fractions.

Le procédé, qui ne s'applique guère qu'à des minerais riches, consomme beaucoup de houille, et une grande somme de produits réfractaires.

Il exige des ouvriers une grande habileté et un travail très pénible. Enfin il n'échappe pas à un déficit élevé dans le rendement.

Les frais de traitement sont variables entre les différentes usines, mais ils peuvent s'évaluer, en chiffres ronds, de la manière suivante :

Main-d'œuvre	20 francs par tonne ;
Houille.	20 —
Produits réfractaires.	10 —
Ensemble. . .	50 francs par tonne de minerai.

A ces frais s'ajoute la perte de un sixième à un huitième du zinc contenu dans le minerai, soit environ 20 à 30 francs.

Le minerai doit donc supporter, pour être transformé en zinc, des frais de réduction variant de 70 à 80 francs par tonne, soit 20 à 25 francs par 100 kilogrammes de zinc, avec du minerai d'une teneur de 50 à 40 pour 100.

Si les minerais viennent de Grèce, de Sardaigne, d'Espagne, pour se faire traiter à Liège, à Stolberg, à Swansea, ou même en France, il leur faut supporter en outre, des frais de transport, qui s'élèvent de 25 à 30 francs par tonne.

Ce prix coûtant fait ressortir la grosse économie qu'on fera, avec un procédé nouveau permettant de traiter les minerais à la mine, tandis que par le procédé usuel de distillation, qui consomme à peu près deux tonnes de houille par tonne de minerai, on doit construire la fonderie près des houillères, et y transporter les minerais.

En présence de ces charges élevées, de nombreuses tentatives ont été faites pour supprimer le vase clos, et réduire le minerai au contact du charbon de chauffage, dans des fours à cuve de formes diverses.

Mais, soit à cause de l'oxydabilité du zinc au milieu de gaz dans lesquels se trouve toujours de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, soit à cause de la trop grande abondance des gaz dans lesquels se trouvent diluées les vapeurs de zinc, on n'est pas encore parvenu à recueillir le métal, mais seulement une poudre plus ou moins oxydée.

Depuis peu les idées ont pris une autre direction, et beaucoup pensent maintenant, que c'est par la voie humide et l'électricité, que la production du zinc sera obtenue plus économiquement.

Pendant longtemps, on s'est habitué à considérer que l'électricité est produite par la combinaison du zinc, dans des conditions déterminées, avec un acide. On fait de l'électricité en consommant du zinc, comme on fait de la vapeur d'eau avec de la houille.

Aussi a-t-il paru assez téméraire, à première vue, de tenter, au moyen de l'électricité, la production d'un métal aussi facilement oxydable que le zinc.

Mais depuis qu'on a vu l'Exposition d'électricité, personne n'est plus surpris de l'idée d'employer des forces motrices considérables, je dirai même illimitées, à la production de courants électriques abondants. Personne ne s'étonnera de voir l'électricité appliquée à la grande industrie,

et tout particulièrement à celle du zinc, si coûteuse et si délicate, par les procédés actuellement usités.

Trois procédés ont surgi pour la réduction des minerais de zinc, au moyen de l'électrolyse. Ils diffèrent entre eux principalement, par la nature de l'acide employé à la dissolution des minerais :

L'acide chlorhydrique,
L'acide azotique et
L'acide sulfurique.

Procédé par l'acide chlorhydrique. — Le procédé par l'acide chlorhydrique, consiste à mettre cet acide en contact avec le minerai, pour former un chlorure hydraté, neutre, très concentré.

Puis la liqueur est traitée par un courant électrique qui en précipite le zinc à l'état métallique pur.

Le fer, qui se précipiterait avec le zinc sur le catode, est éliminé préalablement, à l'état de peroxyde hydraté, au moyen d'un corps très oxydant, tel que le chlore, l'acide nitrique, les hypochlorites, les azotates et le peroxyde de manganèse. Mais l'auteur du procédé, n'indique pas ce que deviennent toutes les substances susceptibles de former, avec l'acide chlorhydrique, des sels solubles, substances telles que la chaux et le manganèse, qui peuvent promptement saturer la liqueur, l'encombrer, etc.

La séparation du zinc, de son sel, rend libre le chlore, qui se dégage au contact d'un anode insoluble en charbon. — Celui-ci est contenu dans un vase poreux ou dans un panier en osier, surmonté d'une conduite étanche, qui communique avec une pompe destinée à aspirer le chlore, et à le refouler dans une chambre, où il est absorbé par la chaux.

L'inventeur semble attacher une certaine valeur au chlorure de chaux ainsi obtenu.

Enfin le zinc est précipité en granules ou cristaux qui se détachent du catode et tombent dans des filtres où ils sont recueillis. La refonte de ces cristaux produit un déchet considérable, et le métal produit, conserve toujours une petite quantité de chlorure de zinc, qui le rend pleureur.

Des essais du procédé, ont été faits à la Vieille-Montagne, qui y a renoncé.

Procédé par l'acide azotique. — La propriété que possède l'acide azotique d'attaquer la blende, a séduit un autre inventeur, qui s'est attaché à traiter les minerais de zinc, transformés en azotates, mais il est obligé de reconnaître que la décomposition du sel par l'électricité, produit de l'oxyde, et il propose, pour obtenir le métal, d'ajouter à son bain une matière organique telle que la glycérine, la glucose, etc., etc.

La nécessité de se procurer l'acide azotique et les matières organiques, détermine l'emplacement, pour l'exploitation de ce procédé, dans un centre

industriel, à proximité de fabriques de produits chimiques. Cette nécessité charge le prix de revient de la valeur de ces diverses matières.

L'inventeur ne dit pas comment il se débarrassera de toutes les matières solubles dans l'acide nitrique qui accompagnent le zinc dans le minerai, et ne tarderaient pas à encombrer la liqueur.

PROCÉDÉ L. LÉTRANGE.

Le procédé Létrange est basé sur l'emploi, comme dissolvant, de l'acide sulfurique emprunté au minerai lui-même, en utilisant, à cet effet, le soufre de la blende.

Ne nécessitant l'acquisition d'aucun réactif, il est indépendant de toute industrie étrangère, et exempt de tous frais de transports.

Avec des frais de premier établissement moins élevés que ceux des procédés usuels, il ne réclame qu'une force motrice, qui est presque sa seule dépense.

Le procédé repose sur l'emploi de la blende, au moins dans une faible proportion ; mais il s'applique à toutes les sortes de minerais, et il a ceci de particulier, qu'il permet d'utiliser tout spécialement les minerais qui sont peu recherchés, ou même ceux qui sont délaissés par les procédés usuels.

Le procédé embrasse deux parties bien distinctes :

1° Le grillage de la blende ;

2° La réduction des oxydes et carbonates par l'électrolyse.

Nous allons donc examiner successivement, le traitement des minerais, puis la production du zinc.

Minerais de zinc dans la nature. — Les minerais de zinc, que l'on rencontre abondamment dans la nature, se présentent sous deux formes.

1° *La blende* très abondante, mais de faible valeur, souvent délaissée, soit à cause des difficultés et des embarras de son traitement, soit à cause de l'impossibilité où l'on se trouve, dans certaines localités, de déverser dans l'atmosphère, les vapeurs sulfureuses produites par son grillage ;

2° *La Calamine*, que sa pureté, sa richesse, font rechercher par tous les fondeurs, tant à cause de sa teneur élevée et de la facilité de son traitement, que pour aider, par des mélanges, au traitement de divers minerais pauvres ou réfractaires.

Ajoutons que la blende se trouve dans tous les gisements de calamine.

Préparation des minerais. — Les minerais destinés à la réduction, par le procédé Létrange, n'exigent pas une préparation aussi complète, que ceux qui doivent être traités par le charbon. Il n'est pas même nécessaire d'en séparer les matières plombeuses, qui ne gênent pas l'attaque du minerai de zinc par l'acide, et restent dans les résidus. On peut, dans bien des cas, y laisser des gangues calcaires, lorsque l'on doit absorber de l'acide sulfurique, produit en excès dans le traitement pour réduction du sulfate.

La calamine n'a pas besoin d'être calcinée pour économiser des frais de transport par la diminution de son poids, puisqu'elle se peut traiter près de la mine, et que le carbonate de zinc est, aussi bien que l'oxyde de zinc, attaquable par l'acide sulfurique et l'acide sulfureux.

Grillage de la blende. — Quand la blende doit être traitée par distillation, on en doit chasser le soufre aussi complètement que possible, attendu que chaque unité de soufre libre, retiendra deux unités de zinc à l'état de sulfure, à moins que l'on ne soit en mesure, par des mélanges avec des minerais à gangue calcaire, de faire absorber le soufre par de la chaux.

Mais pour mon procédé le grillage doit être modéré et dispensé de l'élévation de température nécessaire à la décomposition des sulfates, qui se produisent toujours pendant l'opération. On doit, au contraire, mener le grillage de façon à favoriser la formation de la plus grande somme possible de sulfate de zinc.

On peut employer, au grillage de la blende, les fours à réverbère usuels, en en modérant la température, ou bien le four à grille ou à cuve, quand la blende est en morceaux.

Si l'on n'a à traiter que de la blende, on pourra généralement la livrer à l'électrolyse, dans l'état de grillage imparfait, produit comme il vient d'être dit. Elle contiendra toujours plus de sulfate qu'il n'en faudra pour alimenter les bains de dissolution. Et l'on pourra, suivant les circonstances, laisser perdre ou utiliser les vapeurs sulfureuses produites par le grillage ; mais si l'on doit traiter des calamines ou des oxydes de zinc, il faudra toujours alimenter les bassins de dissolution, comme nous le verrons plus loin, avec une certaine quantité d'acide ou de sulfates.

Il peut donc être nécessaire d'utiliser, pour le traitement des oxydes, une partie notable des vapeurs sulfureuses produites par le grillage de la blende, et souvent on sera obligé de le faire, pour éviter les dommages que ces vapeurs acides causent dans le voisinage. Au pis aller, on pourra toujours les utiliser à la fabrication de l'acide sulfurique.

On trouvera dans l'histoire de l'industrie du zinc, de nombreux exemples de fabrication d'acide sulfurique, avec les vapeurs sulfureuses produites par le grillage de la blende. Je ne citerai que ce que j'ai vu :

Dès 1843, M. Rhodius, à Lintz, produisait du zinc avec de la blende grillée dans des fours à cuve soufflés.

Les vapeurs sulfureuses étaient converties en acide sulfurique, qui servait ensuite à faire des sulfates de cuivre et des sulfates de zinc.

Le minerai mal grillé, restait chargé de sulfate de zinc et devait être grillé de nouveau au réverbère.

On aurait pu, comme on le faisait à la même époque à Klaustall, dans le canton des Grisons, en Suisse, mélanger le minerai imparfaitement grillé avec de la chaux, pour en absorber le soufre.

En 1848, M. Castinel, de Marseille, construisait à Saint-Christ, près de Vienne (Isère), une fabrique d'acide sulfurique, pour utiliser les vapeurs sulfureuses produites par le grillage de la blende de La Poipe.

En 1853, M. Godin, un Français, construisait, à Stolberg, des fours à cuve pour griller la blende, en vue d'en utiliser les vapeurs à la fabrication de l'acide sulfurique. Plus tard, M. Hasenclever, successeur de M. Godin dans l'usine devenue « La Rhénania, » construisait des fours perfectionnés avec lesquels il grille, à vase clos, les blendes des fonderies de zinc voisines.

M. Perret, devenu propriétaire de la fabrique de Saint-Christ, y a établi son four à griller les pyrites de fer, mais malgré son brevet, qui annonce l'élimination du soufre en quantités infinitésimales, il n'a pu laisser, avec son four, moins de 8 pour 100 de soufre dans de la blende, qui se trouvait ainsi impropre à la distillation sans un nouveau grillage, devenu plus difficile et plus dispendieux que si le premier n'avait pas eu lieu. Le grillage imparfait que produit le four Perret, serait donc très convenable pour le traitement par l'électrolyse.

On peut donc produire de l'acide sulfurique avec le soufre brûlé de la blende, comme toutes les fabriques de France le font maintenant, avec le soufre brûlé des pyrites de fer, puis cet acide sulfurique peut être vendu ou employé à la sulfatation des oxydes provenant de la blende grillée et des carbonates.

M. Delamine, à Ampsin, près de Liège, utilise les vapeurs sulfureuses produites par le grillage de la blende à la fabrication de l'alun, en exposant directement les matières alumineuses placées dans un long conduit de cheminée, au contact des fumées de ses fours de grillage. — C'est un moyen analogue que j'ai adopté pour la conversion de la blende en sulfate.

L'oxyde de zinc, aussi bien que le carbonate, ont la propriété de se combiner avec l'acide sulfureux pour former un sulfite de zinc.

La combinaison est facilitée par l'intervention d'une petite quantité d'eau versée en pluie, ou de vapeur d'eau qu'on peut produire avec la chaleur perdue du four de grillage, ou avec la chaleur du minerai à sa sortie du four.

On peut donc sulfiter le minerai, plus ou moins, en le mettant en contact avec l'acide sulfureux humide, avant de le soumettre à l'électrolyse; mais dans certains cas, il est préférable de ne soumettre à la sulfatation, qu'une

quantité restreinte de minerai, dont on enlève tout le zinc par voie humide.

L'eau, après avoir dissous l'acide sulfureux, est mise en contact avec le minerai, et le sulfite de zinc, formé par la combinaison de l'acide sulfureux et de l'oxyde de zinc, est recueilli par un lessivage.

Ce sulfite se transforme en sulfate, par une simple exposition à l'air, puis est cristallisé.

On arrive ainsi, facilement et à peu de frais, par la combinaison d'une série de dispositions usitées dans beaucoup d'industries, à retenir les vapeurs sulfureuses, et à en former, avec le zinc du minerai, un sel soluble, qu'on recueille définitivement, à l'état de cristaux.

Le sulfate de zinc ainsi formé, sert à alimenter, dans la proportion nécessaire, la dissolution qui doit être soumise à l'électrolyse.

On ne doit pas compter sur le placement, dans le commerce, des quantités de sulfate de zinc produites en excès des besoins de l'électrolyse ; mais on pourra toujours les utiliser à la production de l'acide sulfurique, par évaporation de l'acide, et recueillir l'oxyde de zinc.

La première partie du problème, se trouve ainsi résolue sans difficulté.

Il n'en est pas de même de la seconde partie, où tout est nouveau.

Dissolution et réduction des minerais. — Les minerais, blendes ou calamines sont déposés dans de grands bassins où un faible courant d'eau vient dissoudre le sulfate de zinc contenu dans la blende imparfaitement grillée, ou dans la calamine soumise à la sulfatation, comme il vient d'être expliqué.

La liqueur sulfatée est dirigée dans une série de bassins où elle pénètre par le fond. Elle les traverse lentement en y déposant, à l'état métallique sous l'action de l'électricité, une partie du zinc qu'elle contient.

L'acide sulfurique rendu libre, en quantité proportionnelle à celle du zinc déposé, s'élève à la surface du bain d'où il s'écoule par déversement dans les premiers bassins où se trouvent les minerais, oxydes ou carbonates, qui, une fois le bain de sulfate formé, n'ont plus besoin d'être préalablement sulfatés, et se trouvent dissous par cet acide.

Au moyen d'une différence de niveau entre les bassins et d'un faible effort mécanique sur un point du circuit, soit au sortir des bassins de dissolution, le courant liquide est réglé d'une manière continue : il parcourt les bassins de dissolution où son acide s'empare du zinc contenu dans le minerai, jusqu'à épuisement de celui-ci, puis traverse les bassins de précipitation, où il dépose le zinc, et redevient acide, pour opérer de nouvelles dissolutions.

L'acide étant indéfiniment reproduit dans les bassins de précipitation, il suffit que les minerais traités contiennent une quantité de sulfate suffisante pour fournir l'acide qui doit être absorbé par les matières étrangères qu'il

contient, telles que la chaux, le fer, etc. Si l'on avait à traiter de la blende dont la gangue ne fût pas susceptible de s'attaquer par l'acide sulfurique, la totalité du soufre se trouverait disponible et utilisable en dehors du procédé.

Le plomb, l'argent et autres matières insolubles dans l'acide sulfurique étendu, sont recueillis dans le résidu que le minerai laisse, après avoir abandonné tout son zinc. La chaux reste à l'état de sulfate insoluble. Le fer contenu dans le liquide, est précipité sur l'anode en plomb, à l'état d'oxyde, qui se détache et tombe au fond des bassins.

En élevant la température du bain, on augmente beaucoup la production, aussi le nouveau traitement s'utilise avantageusement dans les pays chauds, où ne peut pénétrer le traitement par distillation.

Production de l'électricité. — Le courant électrique, nécessaire à la réduction en zinc métallique, du sulfate de zinc, est fourni par des machines électriques mises en mouvement, au besoin, par une machine à vapeur, mais de préférence, par une force hydraulique empruntée au cours d'eau le plus voisin de la mine.

Frais de traitement. — Dans l'hypothèse où l'on peut employer un moteur naturel, comme une chute d'eau, hypothèse qui est la plus générale, les frais de réduction des minerais de zinc sont presque nuls, et se réduisent à la simple surveillance d'une opération qui marche seule. La manipulation, aussi réduite que possible, consiste à amener le minerai dans les bassins de dissolution, puis à en enlever les résidus, enfin à récolter les catodes chargés de zinc, que l'on remplace aussitôt par de nouveaux plus minces.

Dans le cas où, faute de chute d'eau, on doit employer un moteur à vapeur, la quantité de charbon à dépenser est moindre par 100 kilogrammes de minerais, qu'avec le procédé par distillation. Elle doit se compter aux 100 kilogrammes de zinc.

Cette quantité étant moindre que celle du minerai à traiter, surtout avec minerais pauvres, il ne sera plus, comme actuellement, nécessaire de transporter le minerai de la mine à une fonderie située, plus ou moins loin, près d'une houillère.

L'établissement destiné à traiter les minerais de zinc par l'électricité, doit donc être installé à la mine même, pour éviter les frais de transport qui, dans certains cas, sont considérables, et ne permettent l'exportation vers les fonderies, que de minerais d'une certaine richesse variant avec les cours du métal qu'il doit fournir.

Frais d'installation. — Par le procédé usuel de traitement des minerais par distillation, on compte qu'il faut dépenser plus qu'un million de

francs, pour installer complètement une usine capable de produire un million de kilogrammes de zinc par an.

Le nouveau procédé n'exige, pour la même production, qu'une force motrice, une quantité correspondante de machines dynamo-électriques, et quelques bassins de dissolution et de précipitation. La valeur de l'ensemble de ces appareils s'élève à un chiffre moindre que la somme ci-dessus indiquée.

On peut espérer que le prix des machines électriques, qui représente actuellement la plus forte dépense, sera bientôt abaissé par la concurrence et la grande consommation, ainsi que cela est arrivé pour les machines à vapeur.

Les propriétaires de mines sont surtout intéressés à l'emploi du nouveau procédé.

Actuellement, ils supportent des frais souvent élevés pour porter leur minerai à la fondèrie, puis un prix de façon de 70 à 80 francs par tonne, pour la réduction de ce minerai.

Enfin on leur retient un cinquième, plus un de la teneur en zinc, lequel leur est payé au cours. Enfin une remise de 5 pour 100.

Ils ne trouvent leur compte qu'en expédiant des minerais d'autant plus riches que le cours est plus bas.

S'il s'agit de blende, la façon et la retenue sur la teneur sont beaucoup plus élevées encore.

Désormais, les mineurs pourront traiter eux-mêmes, sur place, tous leurs minerais riches ou pauvres, ou tout au moins, voir des ateliers de réduction s'établir à leur proximité pour les traiter. Ils utiliseront beaucoup de minerais, dont ils ne peuvent actuellement tirér aucun parti.

Résumé. Le procédé usuel de réduction des minerais par distillation est cher comme installation, compliqué comme exploitation, et dispendieux en combustible, main-d'œuvre et consommations diverses.

La quantité de combustibles qu'il exige, condamne les usines à se placer près des houillères, ce qui entraîne souvent des frais de transport élevés.

La main-d'œuvre est très chère, pour rétribuer un travail délicat et très pénible pour les ouvriers, qui l'exécutent difficilement dans les pays chauds.

Les appareils multiples et compliqués, d'une fabrication minutieuse, sont incessamment renouvelés.

Les pertes sur le zinc contenu dans le minerai, sont d'environ 1/6e à 1/8e dans les établissements les mieux dirigés.

Le procédé Létrange de réduction des minerais de zinc par l'électricité, est d'une installation plus simple et beaucoup moins dispendieuse.

Il peut utiliser tous les minerais, à la mine même, et sous tous les climats, et spécialement les minerais pauvres ou mélangés.

Il simplifie la préparation des minerais.

Le zinc qu'ils contiennent est recueilli en totalité et très pur.

Les frais de traitement se réduisent à la mise en mouvement d'appareils électriques, qui ne consomment que de la force motrice et à une manutention réduite à sa plus simple expression ; presque nuls, quand on peut employer des forces naturelles comme moteur, ils ne s'élèvent, dans tous les cas, qu'à une somme moindre de ce qu'ils sont par les anciens procédés, et d'autant plus faible, relativement, que les minerais sont plus pauvres.

L'emploi de l'électricité va donc, désormais, trouver son application économiquement et sur une grande échelle, à la réduction des minerais de zinc et de toutes matières zincifères.

M. Brüll demande à M. Létrange comment il se débarrassera du fer qui, à l'état de pyrites, accompagne souvent la blende, et comment il recueille les métaux précieux, or et argent, lorsqu'il s'en trouve dans le minerai.

M. Létrange. — Les pyrites sont généralement séparées par un lavage sur des cribles à piston, mais souvent le mélange est assez intime, pour que la séparation en soit difficile par les moyens mécaniques, en raison du peu de différence de densité entre les deux sulfures.

Dans un cas semblable, à Bensberg, j'ai vu griller très légèrement le minerai pour oxyder le sulfure de fer, qui brûle facilement sans oxyder la blende. Le fer amené à l'état d'oxyde rouge, était éliminé par un simple lavage.

Indépendamment de ces procédés de préparation, lorsque les minerais grillés ou les oxydes ou carbonates à traiter contiennent du fer, ce métal est attaqué par l'acide sulfurique, et entraîné, à l'état de sulfate, en même temps que le zinc.

Dans ce cas, le fer est précipité de son sulfate par le carbonate de chaux. L'on peut se servir, à cet effet, de calamine à gangue calcaire placée dans le dernier des bassins de dissolution, traversé par le sulfate formé dans les premiers bassins.

Enfin, si le sulfate de zinc arrive dans les bassins de précipitation, sans être débarrassé du fer provenant du minerai, le fer se précipite sur les anodes en plomb à l'état de peroxyde non adhérent, qui tombe au fond du bassin et ne se redissout plus dans le sulfate de zinc neutre, tandis que le zinc du sulfate se précipite, à l'état pur, sur les catodes.

En ce qui regarde l'or et l'argent, insolubles dans l'acide sulfurique, ils restent, avec le plomb, dans les résidus de la dissolution, où ils sont repris pour être traités par les procédés qui sont employés habituellement pour les extraire de leur propre minerai.

M. le Président, en remerciant M. Létrange de sa communication, le félicite d'avoir ainsi résumé l'histoire de la fabrication du zinc dans le présent, et d'avoir indiqué des procédés, qui peuvent être ceux de l'avenir.

La séance est levée à 11 h. 1/4.

Les Membres admis comme sociétaires dans cette séance sont :

MM. Baudot, Dubuisson, Grœnberg, Liuard, Maury, de Méritens, Molleveau et Mariez. Comme Membres associés, MM. Binder et Delorme.

LISTE DES RÉCOMPENSES

OBTENUES PAR DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ

A L'EXPOSITION INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ

Diplôme d'Honneur

MM. Bréguet, Deprez (Marcel), Siemens.

Diplôme de Coopérateur

Belgique : M. Somzée.
Suisse : M. Colladon.

Médaille d'Or

MM Achard, Carpentier (Jules), Collin (Armand), Farcot (Joseph), Garnier (Paul), Henri Lepaute, Jousselin, Lartigue (Henri), Menier, Rattier, Regnault, Sautter et Lemonnier, Tresca (Gustave).

Médaille d'Argent

MM. Armengaud aîné, Barbier (Ernest), Borel, Brotherhood, Cail, Chaligny, Crespin (Arthur), Farcot (Emmanuel), Géneste et Herscher, Létrange, Mignon et Rouart, Piat, Monnier (Denis), Elwell, Weil.

Médaille de Bronze

MM. Boulet, Bourdin (Jules), Hunebelle, Hurtu, Kern, Laveissière, Raffard, Schneider et Cie, Vertraect.

Nota. — Les Membres de la Société qui ont été récompensés et qui ne figurent pas sur cette liste, sont priés de vouloir bien adresser leur réclamation, dans le plus bref délai, au siège de la Société.

SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1881.

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. LE PRÉSIDENT fait part à l'Assemblée que M. Deshorties de Beaulieu, membre associé de la Société, a adressé au Président, le 20 novembre, une protestation au sujet d'un Mémoire lu en séance du 22 avril, sur les projets des Ports sud de Marseille, et inséré dans les comptes rendus du mois de septembre.

Le Comité après avoir entendu la lecture de ladite protestation et après examen, a décidé qu'il serait donné acte à M. Deshorties de Beaulieu du dépôt de sa protestation.

Conformément à l'article 17 des Statuts, M. LOUSTAU, trésorier, donne communication de l'exposé de la situation financière de la Société.

Il indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 17 décembre 1880, de	1800
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de	180
	1980
A déduire, par suite de décès, démissions et radiations pendant l'année	58
Nombre total des Sociétaires au 16 décembre 1881	1922

Les recettes effectuées pendant l'exercice de 1881 se sont élevées à :

	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1° Pour le service courant (droits d'admission, cotisations, locations de salles, intérêts d'obligations, amendes, vente de Bulletins, annonces).		72,981 08	89,090 33
2° Pour le fonds social inaliénable, 16 exonérations	9,600 »	16,109 25	
3° Dons volontaires	6,509 25		
Il reste à recouvrer en droits d'admission et cotisations			12,576 »
Total de ce qui était dû à la Société			101,666 33

Au 17 décembre 1880, le solde en caisse était de.	21,142 63	110,232 96
Les recettes effectuées pendant l'exercice 1881 se sont élevées à.	89,090 33	

Les sorties de caisse de l'exercice se sont élevées à :

1° Pour dépenses courantes diverses (impressions, appointements, contributions, assurances, affranchissements, intérêts de l'emprunt, etc.). .	65,709 12	92,533 07
2° Pour achat de 26 obligations sur le fonds courant.	10,323 95	
3° Emploi du fonds du capital inaliénable : Remboursement de 33 obligations.	16,500 »	
Il reste en caisse à ce jour.		17,699 89

D'après le détail de la situation présentée par le Trésorier, le fonds courant et le capital inaliénable sont constitués de la manière suivante, à la date du 16 décembre 1881.

L'avoir du fonds courant se compose :

1° De l'encaisse en espèces.	3,713 17
2° De 191 obligations du Midi, ayant coûté.	66,594 89
Total du fonds courant.	70,308 06

La Société possède en outre comme fonds social inaliénable :

1° En espèces.	13,986 72	19,986 72
2° 19 obligations du Midi, provenant du legs Nozo.	6,000 »	
3° Un hôtel dont la construction a coûté.	278,706 90	234,706 90
sur lequel il reste dû.	44,000 «	
Total de l'avoir de la Société.		325,001 68

M. LE TRÉSORIER croit devoir signaler à la reconnaissance de la Société, ceux de ses Membres qui ont contribué le plus largement aux versements des dons volontaires, tant en espèces qu'en obligations désignées par le tirage au sort pour être remboursées.

	ABANDON D'OBLIGATIONS.	EN ESPÈCES.
MM. Badois, 1 obligation.	500 fr.	
Goschler, 1 obligation.	500 »	
Gottschalk, 3 obligations.	1500 »	
Gouin, 1 obligation.	500 »	
Molinos, 2 obligations et intérêts.	1121 25	
Pérignon, 1 obligation.	500 »	
Chapron.		1000 fr.
Mallard.		100 »
Philipson.		500 »

ÉTAT COMPARATIF DES EXERCICES DE 1874 A 1881.

INDICATIONS.	18 décembre 1874.	17 décembre 1875.	15 décembre 1876.	21 décembre 1877.	20 décembre 1878.	19 décembre 1879.	17 décembre 1880.	16 décembre 1881.
Nombre de Membres....	1185	1263	1346	1420	1526	1577	1800	1922
Membres admis pendant l'Exercice..........	114	109	114	109	150	98	264	180
Membres décédés......	15	17	17	21	18	17	21	24
Membres démissionnaires	10	9	5	3	13	14	7	17
Membres rayés.......	11	11	9	11	13	16	13	17
Membres exemptés.....	6	4	6	9	11	5	3	25
Exonérations de 600 fr.	4	3	5	11	13	9	23	16
Legs................	»	»	Nozo 6.000f Seguin 5.000f	»	»	Gil Claudio 5.000f	»	»
Dons volontaires.......	»	»	100	»	»	72f	3.658f 75	6.509f 25
Encaissements de l'Exercice...............	40.160f 00	44.964f 00	59.159f 10	55.816f 32	63.612f 65	68.346f 74	81.454 84	89.090f 33
Achat d'Obligations du Midi...............	»	(30) 15.846f 65	(31) 10.098 15	(16) 5.313 60	(29) 10.605 25	(25) 9.552 54	(14) 5.348 50	(26) 10.828 95
Remboursement d'Obligations sociales.	»	»	(16) 8.000 00	(16) 8.000 00	(14) 7.000 00	(9) 4.500 00	(20) 10.000 00	(33) 16.500 00
Sommes dues.........	20.667 00	17.917 00	18.891 00	18.338 00	16.577 00	11.847 00	13.521 00	12.576 00
Sommes restant en Caisse	16.016 45	23.416 60	29.499 17	12.362 09	18.529 04	19.100 26	21.142 63	17.699 89
Dépenses de l'Exercice..	35.206 00	37.563 85	37.229 88	48.855 25	45.131 10	52.371 27	57.570 43	65.709 12

M. le Président fait remarquer, pour cette année, le grand nombre des dons volontaires, les bons résultats donnés par la location des salles, le produit des annonces et la vente des Bulletins. Il fait observer également, que l'encaisse n'est pas inférieur à celui des années précédentes, malgré l'acquittement des charges imposées par le Bulletin mensuel de l'année 1880. Enfin, les rentrées se font d'une manière très satisfaisante, et les sommes à recouvrer continuent à diminuer. Cet heureux résultat est entièrement dû à la diligence, à l'activité et au dévouement de notre trésorier, M. Loustau. M. le Président propose en conséquence à l'Assemblée, de voter l'approbation des comptes et des félicitations à notre sympathique trésorier.

Ce vote a lieu à l'unanimité et par acclamation.

Il est ensuite procédé au vote pour l'élection des Membres du Bureau et du Comité pour l'année 1882.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président.

M. Trélat (Émile).

Vice-Présidents :

MM. Marché (Ernest).
Martin (Louis).
Brüll (Achille).
Courras (Léon).

Secrétaires :

MM. Vallot (Henri).
Douau (Maximilien).
Lecocq (Édouard).
Delaporte (Georges).

Trésorier : M. Loustau (Gustave).

COMITÉ.

MM. Rey (Louis).
De Comberousse (Charles).
Cotard (Charles).
Mallet (Anatole).
Degousée (Edmond).
Périssé (Sylvain).
Carimantrand (Jules).
Desgrange (Hubert).
Mayer (Ernest).
Lavezzari.

MM. Morandiere (Jules).
Ermel (Frédéric).
Fontaine (H.).
Flachat (Ivan).
Herscher (Charles).
Simon (Édouard).
Armengaud jeune.
Péligot (Henri).
Forquenot (Victor).
Chobrzynski (Jean).

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Résumé paraissant les premier et troisième vendredis de chaque mois.

SÉANCES - VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

PROCÈS-VERBAL DE LA 5e SÉANCE

tenue le Vendredi, 14 Octobre 1881

au Siège de la Société.

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU

La séance est ouverte à dix heures du matin.

M. LE PRÉSIDENT. Messieurs, dans la 2e séance nous avons examiné les moyens de produire l'électricité avec les piles. Dans la séance de ce jour, qui, par suite de difficultés survenues avec le commissariat général, ne peut avoir lieu comme précédemment au palais de l'Industrie, nous allons étudier la production de l'électricité à l'aide des moyens mécaniques, avec les machines dynamo et magnéto-électriques.

Je donne la parole à M. Franck Géraldy, qui veut bien nous exposer les principes de la construction de ces machines.

M. FRANCK GÉRALDY. Messieurs, l'exposé des principes des machines dynamo et magnéto-électriques se présentera d'une façon assez intéressante et complète, en résumant dans un ordre à peu près chronologique l'histoire de ces machines.

Vous savez, Messieurs, que ces machines sont issues des travaux de Faraday sur l'induction; il est inutile de revenir sur les expériences premières, connues de tous. Prenons l'origine à la première machine qui ait été construite : celle de Clarke. Vous la connaissez : c'est la machine classique qui servait à nos expériences au temps où nous étions au lycée. Elle se composait d'un aimant devant lequel tournaient deux bobines.

Nous supposons un fer à cheval entre les branches duquel est placé un axe qui porte deux noyaux de bobines en fer, enroulés de fil électrique. Une bobine est placée à un bout, une seconde bobine pareille est placée à l'autre extrémité. Dans le mouvement de l'axe les bobines passent devant le pôle de l'aimant et sont influencées chaque fois par son magnétisme; les courants sont alternativement de sens inverse, attendu que les bobines vont successivement d'un pôle à l'autre de l'aimant. Les machines donneraient des courants alternatifs, si on ne parvenait pas à les redres-

ser. On y arrive au moyen d'un instrument qu'on appelle le commutateur de Clarke. Il est très simple; les courants tout en changeant de sens, ne changent pas de direction dans les circuits extérieurs.

L'idée devait venir de compléter cet appareil et de l'agrandir. Il a reçu plusieurs perfectionnements. Par exemple, nous y trouvons un aimant qui attaque la bobine à l'un des bouts; rien ne s'oppose à ce qu'on mette un deuxième aimant qui attaque la bobine à l'autre bout; de cette façon nous aurons une double induction et un courant plus énergique. D'autre part, nous pouvons, au lieu de deux bobines, en mettre quatre; nous aurons ainsi deux fois plus de passages dans le même temps et deux fois plus de force électro-motrice. Au lieu de deux aimants on peut en mettre quatre; entre lesquels tourne l'axe portant alors quatre bobines. C'est Nollet, professeur de physique à Bruxelles qui a construit cette machine perfectionnée : vous la retrouverez dans la société de l'Alliance. Ce n'était guère qu'une machine de laboratoire, qu'on tournait à la main : la machine de l'Alliance en est sortie par un simple agrandissement.

Pour avoir une idée de cette machine, on peut supposer un grand nombre de bobines rangées sur la circonférence d'un plateau, au lieu d'être placées sur un axe; devant ces bobines, on présente autant d'aimants qu'il est nécessaire. Vous voyez que ce n'est qu'une multiplication de la première machine. Si vous avez besoin de plus de courant, vous augmentez le nombre de plateaux, en multipliant la machine par elle-même. La machine de l'Alliance n'est pas autre chose que cela; seulement, on est obligé d'augmenter le commutateur, car, pour chaque paire de bobines, il faut un redresseur de courants. Aussi, lorsqu'on emploie un nombre considérable de bobines, il faut faire usage d'un appareil très compliqué. En ce temps-là c'était inévitable à l'Alliance, à cause de l'usage qu'on voulait faire de la machine. On se proposait en effet de s'en servir pour décomposer l'eau et faire du gaz pour produire de la lumière; idée assez singulière, quand il est si simple de produire la lumière directement par l'électricité; il est vrai qu'à cette époque, la production de la lumière électrique était embarrassée de difficultés de toutes sortes. Néanmoins, c'est un détour peu naturel et désavantageux que de brûler du charbon pour faire du mouvement, employer ce mouvement à fabriquer de l'électricité et enfin à l'aide de cette dernière fabriquer du gaz pour l'éclairage quand il est si facile d'extraire ce gaz directement du charbon.

Comment est-on venu à employer la machine de l'Alliance sans redresser les courants? Ce n'est pas très facile à savoir au juste. M. du Moncel dit que c'est sur le conseil de M. Masson que cela a été fait; celui-ci avait fait de très nombreuses études sur les courants instantanés, il pouvait donc avoir l'idée que des courants très courts et renversés étaient capables de grands effets. C'est un résultat singulier : une machine qui fonctionne alternativement et très rapidement en sens inverse sur elle-même, donnant un résultat : il n'y a que l'électricité qui peut donner cela. C'est M. Masson qui, en voyant fonctionner la machine de l'Alliance, s'écria

dans un langage énergique : « Fichez-moi ces commutateurs-là au diable et faites-moi fonctionner cela d'une autre façon. »

D'autre part M. Van Malderen, mort dernièrement, tenait beaucoup à ce qu'il fût reconnu que c'était de lui que venait cette simplification; comme il a été le principal ingénieur et le véritable créateur des machines de l'Alliance, il est naturel qu'il y attachât de l'importance. Quoi qu'il en soit on supprima le commutateur et on fit fonctionner les machines de l'Alliance avec des courants renversés. Pour produire la lumière, les courants alternatifs sont peut-être meilleurs que les courants continus : les deux charbons sont dans une position symétrique par rapport aux deux courants, de sorte qu'il n'y a pas d'inégalité dans la combustion. La machine à courant continu présente certainement des avantages, mais, au point de vue restreint de la lumière, ils perdent un peu de valeur. Aussi, la machine de l'Alliance est-elle la plus ancienne qui ait servi à faire de la lumière. Depuis 1863 elle fonctionne dans les phares de la Hève auprès du Havre.

L'idée devait venir de perfectionner cette machine, en remplaçant les aimants permanents par des électro-aimants, rien ne s'opposait à ce qu'on produisît l'aimantation à l'aide de fil enroulé sur une barre de fer. C'est une dépense, mais la machine produisant beaucoup plus, on pouvait espérer regagner d'un côté ce qu'on perdrait de l'autre. Cette idée a donné naissance à deux machines : la machine de Holmes et la machine de Wilde. Je n'insiste pas sur la première, elle n'a pas eu grande influence. La machine de Wilde est au contraire curieuse. M. Wilde plaçait les bobines-aimants comme dans les machines de l'Alliance, c'est-à-dire autour d'un plateau rond. Le plateau porte alors des bobines à noyau de fer doux avec des fils enroulés autour de ces bobines. En face de ces bobines, sont placées d'autres bobines portant également des enroulements de fil, qui sont disposées sur un bâti. Elles doivent remplacer les aimants permanents. Si nous mettons le plateau en rotation autour de l'axe, les bobines qui sont fixées sur le plateau vont se présenter successivement devant les bobines fixées sur le bâti. Si nous avons fait passer dans ces dernières bobines un courant électrique, elles seront aimantées; et toutes les fois que les bobines tournantes passeront devant ces bobines aimantées, il y aura induction.

Ce courant d'aimantation, M. Wilde le chercha dans sa machine même; il distrait de l'ensemble un couple de bobines il redresse le courant de ce couple et le courant ainsi distrait du courant général de la machine est envoyé dans les bobines à aimanter où il fait naître le magnétisme qui doit produire l'induction. C'est comme on le voit très simple : la machine emprunte à elle-même sa propre excitation. Mais une question se présente d'elle-même, comment peut-elle marcher? En effet il faut que les bobines soient aimantées pour faire marcher la machine, et pour qu'elles soient aimantées il faut que la machine marche. Il y a donc là un cercle vicieux. Comment peut-on résoudre le problème? Il n'y a besoin d'aucun procédé;

le problème se résout tout seul, par ce fait que dans du fer doux non magnétisé, il y a toujours assez de magnétisme pour produire un peu d'électricité : c'est ce qu'on nomme le magnétisme remanent. Le fer a toujours du magnétisme. Or ce courant initial envoyé dans les bobines, d'abord faible, se développe au fur et à mesure que les bobines passent les unes devant les autres et va toujours en augmentant jusqu'au maximum d'aimantation, où il arrive en quelques centièmes de seconde seulement, résultat très remarquable. Ce principe n'est pas de Wilde : la disposition de la machine est seule de lui. Remarquez du reste que l'organe aimantant de la machine est distinct du reste. Le courant qui aimante n'est pas le courant qui travaille. Le courant qui aimante est produit par une paire de bobines qui ne communiquent pas avec les autres. Il y a en réalité deux machines dans une seule. Cette machine est alternative comme celle de l'Alliance. Il faut dire que cette machine est restée peu connue.

J'ai poussé assez loin l'histoire des machines alternatives; il faut revenir sur nos pas pour voir naître et se développer la machine à courants continus. A une époque assez éloignée, vers 1854, M. W. Siemens inventa la bobine qui porte son nom. C'est une bobine à deux pôles : elle est différente de celles que nous avons vu employées jusqu'ici dans les machines de l'Alliance et de Wilde. Celle-ci était la bobine ordinaire, c'est-à-dire un simple morceau de fer doux autour duquel on enroulait du fil en spirale.

M. Siemens procède autrement. Il prend un cylindre de fer long, y creuse deux profondes rainures. C'est une sorte de double I avec deux semelles cylindriques ; il enroule du fil en long, faisant passer par-dessus et revenir par-dessous. La bobine est ainsi constituée. Il la monte sur un axe et la fait tourner dans un champ magnétique, de façon que les deux semelles deviennent des pôles d'aimants ; pour cela, il faut créer des champs magnétiques d'une certaine longueur. A cet effet, il place des deux côtés de la bobine une série d'aimants, autant qu'il est nécessaire pour occuper toute la longueur de la bobine. Il a donné diverses formes à ses machines. L'une des plus connues représente assez bien une suite d'arceaux formés par les aimants, entre les pieds desquels tourne la bobine. L'intérêt de cette bobine, c'est que la longueur du fil soumis à l'inducteur est plus grande que dans les bobines ordinaires ; elle donne de très bons résultats. Cette machine magnéto, quoique très petite, produit une grande quantité d'électricité. Il y en a plusieurs types à l'Exposition.

L'idée devait venir de faire, pour cette machine-là, ce que nous avons vu faire pour la machine de l'Alliance, c'est-à-dire, de remplacer l'aimant par l'électro-aimant. La première machine que je connaisse de ce genre est également due à M. Wilde. Reprenant la bobine de M. Siemens, il la plaçait entre deux grosses plaques de fer sur lesquelles il enroulait du fil. Si l'on fait passer des courants dans ces fils-là, toute l'étendue de ces lames va devenir un seul aimant, et présentera un pôle d'aimant d'une grande longueur devant lequel tournera la bobine. Il faut donc avoir un courant

pour le faire passer dans ces fils. M. Wilde le demandait à une deuxième machine placée à côté de la première. Celle-ci était semblable aux machines Siemens que nous venons de décrire; les deux machines étaient, du reste, placées sur le même bâti, et portaient chacune une poulie avec une courroie spéciale; les deux courroies aboutissant, d'ailleurs, au même moteur.

L'ensemble était fort petit et élégant pour une puissance très notable. Il y a là deux machines différentes: une machine dynamo-électrique et une machine magnéto-électrique. C'est donc, dans le fond, une machine auto-excitatrice, dans le genre de la récente machine de M. Gramme, à laquelle on donne ce nom.

On devait aller plus loin, et, au bout de très peu de temps, arriver à la machine de Ladd, dans laquelle, la machine auxiliaire a disparu. Elle est remplacée par une bobine placée à l'autre extrémité des électro-aimants. Il y a donc deux bobines pareilles ou à peu près pareilles aux deux bouts de la machine; chacune d'elles a sa poulie et sa courroie motrice; l'une fournit un courant qui anime les électro-aimants; l'autre donne le courant extérieur qui sera utilisé.

Ici, nous retrouvons le principe du magnétisme rémanent. Comment la bobine d'aimantation commence-t-elle à s'aimanter? Parce qu'il y avait du magnétisme rémanent qui donne un courant initial; quoique faible, il commence l'aimantation des électro-aimants, ceux-ci produisent alors une induction plus énergique et contribuent à s'aimanter eux-mêmes de plus en plus et à produire un courant utile, croissant jusqu'à sa limite. Les deux courants, celui qui aimante et celui qu'on utilise, ne se mélangent pas.

On devait bien vite arriver à l'idée de supprimer complètement l'organe auxiliaire qui produit l'aimantation, et de prendre le courant de la première bobine pour le faire passer à travers les aimants. Quand la bobine commence à marcher, elle envoie son courant dans son propre aimant et produit l'induction sur elle-même. La machine de Ladd, ainsi modifiée, parut à l'exposition de 1867. Il y eut alors une grande discussion, pour savoir qui avait imaginé le premier les principes de l'aimant et de la surexcitation. Il paraît certain, qu'avant que MM. Ladd et Wilde l'eussent appliqué, M. Siemens, et le même jour M. Wheatstone, l'avaient énoncé; du reste, on l'a retrouvé dans les brevets pris par M. Staite, esprit éminent, travailleur infatigable, mort trop tôt. De 1858 à 1860, il a pris plusieurs caveat, plusieurs brevets qui témoignent de recherches remarquables. Il avait appelé cela le magnétisme résiduel. La discussion de 1867 a mis le principe en lumière, et, renonçant aux discussions stériles, on a fini par dire: faisons-en le meilleur usage possible, sans en rechercher la priorité. Vers 1870, M. Divernois fit les premiers essais d'une machine qui n'est autre que la machine Gramme; c'est celle-là qui est une des plus utilisées et qui contient, sous leur forme la plus complète, les principes des machines actuelles.

La théorie en est assez compliquée. Considérons un anneau de fer, pouvant tourner autour de son centre : nous le plaçons entre deux pôles d'aimant ce que nous obtiendrons en prenant un grand aimant, entre les pôles duquel sera placé l'anneau de fer, susceptible de tourner autour de son centre. Imaginons qu'on enroule autour d'un des points de cet anneau, quelques tours de fil conducteur formant spirale, laissons tourner l'anneau autour de son centre ; pendant que la spirale va passer devant l'un des pôles, il se produira un certain courant induit dans le fil, pendant tout le temps que la spirale mettra à passer devant le pôle. Quand elle passera devant l'autre pôle, le même effet se produira; mais le courant sera de sens inverse. Néanmoins, le courant pourra être de même sens, dans le circuit extérieur, si l'on relie la spirale mobile à ce circuit en deux points correspondant au moment où son courant change de sens ; il n'y aurait alors aucune difficulté à mettre, au lieu d'une seule spirale, deux spirales, diamétralement opposées, dont les courants changeront de sens au même moment, seulement, il faudra toujours recueillir le courant, au point où les courants changent de sens, qui sera le point où les deux fils des bobines viendront se réunir.

Ces bobines ne sont point limitées dans leurs dimensions. On peut en couvrir tout l'anneau, seulement il faut toujours prendre le courant au même point; si on le prend à un autre point, l'aimantation ne se fait plus. C'est la solution nécessaire à trouver pour constituer la machine. Je dirai, plus loin, à qui il faut reporter la solution première, je citerai d'abord, ici, celle qui a été fournie par M. Worms de Romilly qui, ayant enroulé complètement sa bobine de fil, découvrait le fil, ôtait l'enveloppe de gutta-percha, et faisait ainsi une petite zone circulaire de cuivre, sur laquelle passait un ressort frotteur. Les ressorts ainsi disposés, recueillaient toujours le courant au point où nous avons dit.

M. Gramme a trouvé un moyen analogue plus ingénieux. Il divise son anneau en un certain nombre de sections, où il y a naturellement deux bouts de fil. Tous ces bouts de fil sont amenés sur de petites touches métalliques formant un cylindre central sur lequel reposent les frotteurs. Pour montrer l'analogie, supposons que l'anneau de M. Worms de Romilly soit enroulé d'une bobine discontinue. Au lieu de placer les frotteurs sur la circonférence, mettez-les sur un cylindre central. Les courants sont toujours recueillis au même point; seulement, nous avons ramené le frottement au centre, ce qui est plus simple et demande moins de travail qu'un contact à la circonférence. C'est ce qu'on appelle le collecteur de Gramme. Cet organe est celui qui a rendu la machine véritablement utile, on le retrouve dans toutes les machines faites depuis ce moment-là.

Il resterait à dire un mot d'une autre machine : celle de Lontain qui est, du reste, antérieure à celle de Gramme. Elle repose sur le principe des anciennes bobines. Sur un tambour rond, il dispose une série de bobines qui représentent les dents d'une roue; on appelle cette disposition

le pignon de M. Lontain. Chaque bobine, en passant devant un pôle aimanté, éprouvera une induction. Les bobines sont placées quelquefois en hélices. Après ce que nous avons dit il n'y a rien de bien saillant à signaler dans cette machine; elle est moins curieuse que la machine Gramme. La machine qui offre le plus d'analogie avec la machine Gramme est la machine de M. Siemens. Elle en diffère, toutefois, par plusieurs points importants, surtout par la disposition de sa bobine et l'enroulement de ses fils; mais comme production électrique, elle repose exactement sur le même principe, c'est-à-dire la surexcitation prise au magnétisme rémanent du fer. Je n'insisterai pas sur cette machine qui va vous être décrite en détail par M. Boistel.

Un mot maintenant des machines à courants alternatifs. Sous leurs formes récentes, ces machines servent à la production de la lumière, surtout pour les bougies Jablochkoff. Ce foyer électrique ne peut marcher qu'avec des courants alternatifs.

Plusieurs personnes ont fait des machines propres à son service. Il y a d'abord la machine magnéto-alternative de M. Méritens; je n'insiste pas sur cette machine, M. Méritens vous donnera tout à l'heure toutes les explications qu'elle comporte. Ensuite, viennent des machines dynamo-électriques qui empruntent leur aimantation à l'action de l'électricité. Une machine alternative de ce genre suppose toujours à côté d'elle la présence d'une autre machine produisant un courant continu. Il y a toujours, dans ces machines, deux parties distinctes, un inducteur et un induit. Cet induit reçoit son magnétisme d'une machine qui lui envoie son courant continu.

Parmi les machines de ce genre, il faut citer celles de MM. Lontain, Gramme, Siemens. Ils n'ont fait presque tous que développer ou modifier leur propre machine à courant continu. Ainsi, les machines de M. Lontain reposent sur les principes des bobines placées en forme de pignon, dans ces bobines-là, on envoie un courant continu, de façon à ce qu'elles soient aimantées; et à mesure qu'elles passent devant les autres bobines, en tournant, elles développent des courants induits de sens alternatif. M. Gramme de son côté s'est resservi de la forme de son anneau; il constitue une sorte d'anneau ou de tambour creux autour duquel il y a un enroulement de fil. A l'intérieur du tambour, il place des bobines qui ont quelque analogie avec le pignon de M. Lontain.

La machine alternative de M. Siemens est sensiblement différente. Ainsi que vous le verrez par les détails qui vont vous être fournis tout à l'heure. Depuis ce moment les formes se sont beaucoup multipliées.

Il y a dans cette histoire de machines un point sur lequel je désire insister. J'ai dit que la machine de Wilde était restée longtemps inconnue. M. Wilde lui-même n'est pas un grand constructeur de machines, il fait de la galvanoplastie et ne s'est pas beaucoup occupé de faire valoir son œuvre, mais voici un point plus curieux. L'Exposition nous a montré la machine de M. Pacinotti. Personne, avant l'Exposition, ne connais-

sait la machine de M. Pacinotti. On savait bien vaguement qu'une machine de ce genre existait, mais dans le détail elle était fort mal connue. Elle avait été publiée en 1863 dans un journal italien; personne ne s'en était occupé. Si on l'avait examinée et mise en pratique, on aurait eu la machine Gramme, quinze ans plus tôt. Elle repose absolument sur le même principe que celle-ci, elle possède l'anneau, le collecteur de Gramme sous une forme peu différente. Elle est restée machine de laboratoire. Cette machine est à l'Exposition, elle a dormi ignorée pendant dix-sept ans, et il a fallu que ce soit l'autre machine, celle de M. Gramme, qui ait attiré l'attention de ce côté pour qu'on l'ait étudiée. Ce n'est qu'en la voyant à l'Exposition qu'on a remarqué l'analogie extrême qui existait entre les deux machines. Ce fait prouve que pour réussir il ne suffit pas qu'une machine soit bonne il faut encore qu'elle vienne au temps opportun, et ces deux machines, celle de Wilde et celle de Pacinotti ne sont pas venues en leur temps : elles sont restées dans le laboratoire. Lorsque M. Gramme est venu, il a eu la chance heureuse d'arriver à l'heure propice.

L'Exposition nous montre un très grand nombre de machines différentes par la forme, peu distinctes dans le fond.

Il y a en effet une quantité de moyens de faire passer du fer devant un aimant. Supposez un morceau de fer doux avec enroulement de fils; nous pouvons le relier à un axe soit parallèlement à cet axe, soit dans un plan perpendiculaire; dans ce plan nous pouvons encore le mettre suivant un rayon ou tangentiellement à la circonférence. De plus au lieu de présenter l'aimant par le bout, on peut le présenter par-dessus. On pourrait ainsi varier les positions et chacune d'elles fournirait un type de machines. On trouverait, par exemple, que le premier type nous représente la machine de Wilde, où les bobines tournent devant un plateau. En plaçant les bobines d'une autre façon, on a des types différents. Cela peut fournir des dispositifs plus ou moins convenables pratiquement, mais cela ne détermine pas la force génératrice de la machine. Quant au changement de forme en lui-même, il peut être utile pour celui qui prend un brevet, mais cela n'importe pas au perfectionnement de la production d'électricité.

Parmi les machines de l'Exposition il convient cependant de citer la machine de Brush. Sa construction n'offre rien de saillant en elle-même, au lieu d'une bobine continue elle se compose de bobines distinctes placées sur un même anneau. Cette machine a surtout pour elle une tension considérable; elle donne les tensions les plus élevées qu'on avait encore obtenues. Les diverses machines n'ont peut-être pas été aussi complètement et aussi profondément étudiées qu'elles auraient pu l'être. Il faut rendre justice, à cet égard-là à la maison Siemens qui a étudié des machines à basse pression, à pression plus élevée et de dimensions variées. Cette machine a été très travaillée.

La machine Gramme a été un peu mollement étudiée; on a créé deux

ou trois types différents dans la forme, assez peu différents dans le fond. On aurait pu faire plus et tirer davantage de cette machine. Les autres constructeurs ont beaucoup changé la forme sans apporter des qualités nouvelles. Il y a beaucoup de chemin à faire dans cette voie. Je ne présenterai pas comme un modèle l'énorme machine de M. Edison qui vient d'être installée à l'Exposition. Je crois qu'on peut la critiquer à beaucoup de points de vue; mais c'est une machine réellement sérieuse comme dimensions. Si elle répond dans une proportion convenable à la grandeur de ces dimensions, elle doit être très puissante. On aura à entrer dans cette voie d'ici à peu de temps, ce n'est jusqu'ici qu'un commencement, il y a beaucoup à faire, il y a des développements à apporter, la carrière est très grande, et le champ est vaste.

M. le Président. Messieurs, vous venez d'entendre l'exposé très clair que vient de vous faire M. Géraldy, si personne ne demande la parole, nous prierons M. Boistel de vouloir bien nous décrire la machine de M. Siemens.

M. Boistel. Après les explications extrêmement intéressantes que vient de développer M. Géraldy sur les machines magnéto et dynamo-électriques, mon rôle se bornera à vous parler spécialement de la machine Siemens. Je laisse à M. de Méritens le soin de vous parler lui-même de sa machine. Les machines Siemens et Méritens sont tout à fait différentes : elles représentent les deux types de machines dynamo et magnéto-électriques. Nous compléterons donc les explications présentées par M. Géraldy en vous donnant quelques détails sur ces deux types de machines.

La machine Siemens diffère de la machine Gramme, principalement par l'enroulement de sa bobine : c'est une machine dynamo-électrique ; elle n'envoie qu'une partie de son courant dans les électro-aimants, et cette partie du courant produit l'induction dans le fil de la bobine. La disposition de la bobine est essentiellement différente de celle de l'anneau Gramme. L'anneau de Gramme peut être représenté par une barre de fer sur laquelle on aurait enroulé le fil qui constitue l'hélice, puis que l'on aurait courbée en anneau, de façon à réunir le fer avec le fer, et le fil avec le fil. Cet anneau tourne entre les pôles d'aimants, ou plutôt, d'électro-aimants, et l'induction a lieu sur les spires de fil qui entourent cet anneau. Seulement il y a un inconvénient, c'est que l'induction des pôles se fait presque exclusivement sur les portions du fil extérieures à l'anneau de fer; par conséquent, il n'y a que cette portion extérieure à l'anneau qui soit réellement induite. Il y a bien une légère induction sur la partie intérieure, mais toute la partie de fil enroulée à l'intérieur de l'anneau, n'agit guère que par la résistance qu'elle oppose, par la longueur du fil enroulé.

M. Siemens a cherché à employer plus utilement la quantité de fil qu'on est obligé de mettre dans une machine de ce type, et M. de Hefner-

Altenek, ingénieur de la maison Siemens, est arrivé à une disposition très ingénieuse, qui présente l'avantage cherché. La bobine Siemens, au lieu d'être un anneau comme celui de Gramme est un cylindre dont la longueur est toujours multiple du diamètre, c'est-à-dire que la bobine est plus longue que grosse; la longueur est égale à deux ou trois fois le diamètre. Cette bobine à un corps en bois fixé sur l'arbre de la machine. Ce noyau en bois est recouvert de fil de fer enroulé sur toute la longueur et c'est sur ce fil de fer, enroulé tangentiellement au cylindre, suivant la circonférence du cylindre, que sont enroulés les fils de cuivre qui entourent complètement la bobine, et viennent se réunir à un commutateur.

L'avantage qu'il y a, c'est que tout le fil de cuivre est extérieur à la bobine, et, par conséquent, il est directement influencé par les pôles des électro-aimants, disposés tout près de la bobine. C'est un avantage que présente la machine Siemens sur la machine Gramme. Le principe est le même, la différence essentielle entre les deux machines est dans cette disposition que je viens de vous indiquer.

La bobine, si on la considère en coupe, est divisée en un certain nombre de segments : les unes ont 36 segments, les autres en ont 56. Le fil est enroulé, successivement sur chacun des segments, de façon à recouvrir de plusieurs couches toute la surface de la bobine. Le fil est d'un seul bout, mais, pendant l'enroulement, on forme une boucle à chaque fois que l'on a complètement recouvert un segment, et les deux bouts obtenus ensuite par la section de cette boucle viennent se souder à l'un des segments du collecteur. Ce collecteur, comme celui de Gramme, est un cylindre de plus petit diamètre que la bobine, lequel cylindre est composé d'une série de plaques de cuivre rouge, taillées en forme de coins, et toutes ces plaques de cuivre rouge sont juxtaposées, de façon à constituer un anneau, mais isolées les unes des autres par une feuille de carton d'amiante. Il faut que la matière qui sépare toutes ces plaques de cuivre soit incombustible, parce que souvent il y a des étincelles qui se produisent, lesquelles brûleraient rapidement la matière isolante, si elle n'était incombustible.

Il ne reste plus qu'à mettre ces lamelles du commutateur successivement, au fur et à mesure de la rotation de la bobine, en communication avec les balais collecteurs du courant. A cet effet ces deux balais sont pressés par des ressorts tangentiellement à la surface du commutateur, aux deux extrémités d'un même diamètre, et ce diamètre devrait être théoriquement, le diamètre perpendiculaire à la ligne des pôles, là où le courant va s'annuler, pour changer de signe. Mais, en pratique, par suite de considérations d'un ordre assez élevé, et surtout à cause du temps que met l'électricité à parcourir toute la longueur du fil, et de la vitesse de rotation considérable de la bobine, il faut recueillir le courant un peu après la ligne neutre, dans le sens de la rotation.

Les électro-aimants ont une forme différente de ceux de la machine Gramme : les électro-aimants de M. Gramme sont ronds, tandis que les électro-aimants de M. Siemens sont plats. Ils sont composés de barres de

fer, cintrées dans leur milieu, lesquelles enveloppent les trois quarts de la circonférence de la bobine, et c'est sur les prolongements de ces barres de fer que sont disposées à leurs deux extrémités les bobines plates formant les électro-aimants. Les deux pôles que détermine le passage du courant dans ces bobines sont épanouis de façon à envelopper la bobine dans laquelle se produit l'induction. Cette disposition est donc telle que, par suite de l'action du magnétisme rémanent, il y a, au début, une petite induction qui prend naissance dans le fil de cuivre, et le courant engendré, d'abord très faible, passe successivement par les quatre électro-aimants auxquels il donne un magnétisme un peu plus puissant, lequel augmente à son tour l'intensité du courant induit, de telle sorte que, par cette action réciproque de l'effet sur la cause, le courant atteint bientôt son maximum, lorsque la vitesse de la machine a atteint son régime. Vous verrez à l'Exposition deux types de cette machine présentée soit sous sa forme verticale, soit sous sa forme horizontale. Les machines Siemens sont généralement montées de façon à former un seul circuit composé de la bobine, des électro-aimants, et du circuit extérieur, câble et récepteur, lampe ou machine. Mais il y a là un inconvénient : comme c'est le courant lui-même qui produit l'induction, si la résistance extérieure vient à augmenter pour une cause quelconque, l'intensité, représentée comme vous le savez par la formule de Ohm, $I = \frac{E}{R}$, l'intensité diminue. L'intensité du courant diminuant, l'intensité du champ magnétique diminue également, ainsi que l'intensité de l'aimantation dans les électro-aimants ; par conséquent l'action des électro-aimants diminuant, la force de la machine diminue.

M. William Siemens a appliqué une autre disposition, déjà indiquée par Wheatstone qui donne d'excellents résultats, et consiste à mettre les électro-aimants en dérivation. Au lieu de former un seul circuit comprenant tout le fil de la bobine, celui des électro-aimants, et le circuit extérieur, on fait passer dans les électro-aimants une petite fraction seulement du courant. A cet effet, les bornes qui communiquent avec les balais qui recueillent le courant portent deux fils : l'un de ces fils est le commencement du circuit extérieur ; l'autre fil constitue un circuit distinct qui passe uniquement par les électro-aimants. Il y a là un avantage, c'est que si la résistance du circuit extérieur augmente immédiatement le courant trouvant plus de difficulté à s'échapper de la machine, reflue dans les électro-aimants, et alors augmente leur puissance inductrice, de telle sorte que la force de la machine croît avec l'augmentation de la résistance du circuit extérieur.

Ce montage par dérivation est intéressant : il a l'avantage de donner à la machine une force en rapport avec la résistance qu'elle a à vaincre.

Pour la machine à courants continus de M. Siemens, je ne vois pas d'autres explications à vous donner ; c'est à peu près tout ce que j'ai à vous en dire. Je dirai maintenant deux mots de la machine à courants alternatifs.

Vous savez tous, Messieurs, que le besoin des courants alternatifs s'est fait sentir avec l'apparition de la bougie Jablochkoff. Pour que les deux charbons s'usent également, il faut des courants alternatifs. On a employé d'abord la machine Gramme, puis la machine Siemens, à courants alternatifs. Ces machines ne produisent pas d'électricité par elles-mêmes; elles amplifient seulement l'intensité du courant, et le rendent alternatif.

Toutes les machines à courants alternatifs sont doublées d'une machine excitatrice à courant continu.

La machine à courants alternatifs de M. Siemens est ainsi faite. Il y a un axe sur lequel est monté un tambour en bronze plat, et tout autour de ce tambour sont disposées des bobines plates, de forme ovale, qui viennent épouser à leur base la forme du tambour en bronze calé sur l'arbre. Toutes ces bobines sont disposées l'une à côté de l'autre sur ce tambour. Il n'y a pas de fer dans ces bobines : c'est un grand avantage, attendu que les aimantations et désaimantations successives du fer dans ces bobines, qui changent de polarité 8,000 fois par minute, produiraient un échauffement qui pourraitêtre dangereux pour l'isolation des fils.

Ici, cet inconvénient n'est pas à craindre, puisqu'il n'y a pas de fer.

Ces bobines sont composées de deux flasques en maillechort, fixées sur le noyau en bronze, et réunies par deux entretoises en bois, sur lesquelles le fil est enroulé tout autour de la bobine. Les inducteurs sont disposés en face des bobines. Ils sont composés d'un noyau en fer, recouvert d'un cylindre en cuivre. Ce noyau est épanoui, dans la partie qui touche presque aux bobines induites, de façon à couvrir à peu près la bobine induite. Les électro-aimants sont fixés aux bâtis de la machine au moyen de boulons, et les deux séries d'électro-aimants sont en regard l'une de l'autre. Dans l'autre vue, la machine présente la forme circulaire. C'est entre les deux séries d'électro-aimants que tourne le système des induits.

Cette machine, comme je l'ai déjà dit, ne produit pas de courants par elle-même ; elle reçoit le courant de la machine excitatrice. A cet effet, il y a deux bornes auxquelles on attache les fils conducteurs venant de la machine excitatrice. Le courant fait le tour et passe par toutes les bobines des électro-aimants, avant de revenir à l'excitatrice.

Il y a trois types de ces machines ; le petit type qui comprend huit électro-aimants et huit induits : le moyen type, qui en comprend douze, et le grand type, qui en comprend seize.

Deux électro-aimants successifs présentent des pôles différents, et on obtient successivement un pôle positif et un pôle négatif, en changeant le sens de l'enroulement du fil ; par exemple, dans le premier électro-aimant, le courant circule dans le fil depuis le centre, jusqu'à la surface extérieure ; dans le second, le courant passe de l'extérieur, en suivant le fil, jusque dans l'intérieur, et ainsi de suite ; ce qui donne successivement un pôle positif et un pôle négatif. Deux électro-aimants opposés ont toujours

la même polarité, de sorte que chaque fois qu'une des bobines induites vient à passer devant deux électro-aimants successifs de polarité contraire, le sens du courant de la bobine change. Une machine à seize électro-aimants a une vitesse de 500 tours par minute, ce qui fait 8,000 inversions de courant par minute : la lampe électrique s'éteindrait donc 8,000 fois par minute ; mais cela n'est pas visible à l'œil, et on ne peut pas s'en apercevoir.

M. le Président. Je remercie M. Boistel de la description qu'il vient de nous faire de la machine Siemens, et je donne la parole à M. de Méritens, qui veut bien nous exposer les principes et la construction des machines magnéto-électriques.

M. de Méritens. Messieurs, les machines magnéto-électriques ont, comme les dynamo, pour principe, l'induction. La première machine qui ait été faite est la machine de l'Alliance ; elle fonctionne encore aujourd'hui, depuis dix-huit ans qu'elle est appliquée aux phares de la Hève et de Gris-Nez. Elle n'est qu'un développement, sur une plus grande échelle de la machine de Clarke. Chaque disque de cette machine se compose de huit aimants permaments, en fer à cheval, constituant seize pôles alternés devant lesquels tournent seize électro-aimants droits. Suivant sa puissance, la machine comprend cinq ou six disques semblables. Les induits de la machine de l'Alliance sont formés avec des tubes de fer, sur lesquels est enroulé le fil conducteur. Ces tubes sont fendus longitudinalement suivant la génératrice du cylindre, afin d'atténuer la valeur des courants que l'induction détermine dans le fer. Malgré cette précaution, la vitesse de la machine n'a pu être portée au delà de cinq cents tours, parce que l'aimantation et le désaimantation d'un noyau n'ont pas le temps de se produire.

J'ai essayé de remédier à ces inconvénients et de faire bénéficier mes machines des deux genres d'induction qui sont utilisés séparément dans la machine de l'Alliance et dans celle de Gramme ou de Siemens.

Voici comment sont constitués les anneaux de mes machines.

Supposez des lames de tôle découpées à l'emporte-pièce en forme de T : on les place l'une sur l'autre au nombre de soixante-dix, de manière à avoir une bobine plate. Ces lames sont rivées de manière à ne former qu'un noyau, et les angles sont rabattus pour ne pas couper le fil. On enroule le fil sur les bobines.

Dans ces conditions, si j'amène une bobine devant le pôle d'un aimant, au moment où je vais approcher le fer de la bobine du pôle de l'aimant, un courant d'induction va se produire ; mais, lorsque la bobine est arrivée auprès du pôle, lorsque le fer va s'éloigner, c'est le fil qui va passer devant le pôle ; un courant de sens contraire va se produire. Il en résulte

que, dans cette bobine, on a l'induction de la machine de l'Alliance et l'induction des machines Gramme et Siemens réunies.

Chaque anneau est divisé en seize parties, et chacune porte une bobine, des pôles d'aimants sont au nombre de seize, et, à chaque tour de l'anneau, on obtient trente-deux changements de courants. Ces machines font mille tours par minutes: on a donc trente-deux mille courants par minute. Les bobines étant faites en tôle très mince, peuvent prendre en une seconde deux mille aimantations. La tension du courant va toujours en augmentant. L'anneau s'adapte tout aussi bien à une machine dynamo qu'à une machine magnéto-électrique. Le genre de mes études m'a porté plus spécialement vers les machines magnéto-électriques, parce que visant à l'éclairage des phares, il m'était indispensable de produire une lumière toujours régulière sans courir jamais aucune chance d'extinction. La disparition subite de la lumière est moins à craindre avec la machine magnéto qu'avec la machine dynamo-électrique. Vous savez comment brûler les charbons avec le courant continu.

Le bas se taille en forme de cône concave, et le haut en forme de cône convexe. Il en résulte que la portée du phare est limitée au prolongement de la génératrice du cône, avec des courants alternatifs, les deux charbons brûlent également, et le phare éclaire à l'horizon. Si on veut éviter toute espèce d'accident dans la lumière, il faut constituer une machine électrique telle que l'inducteur soit le plus invariable possible; or, avec les machines magnéto-électriques, l'invariabilité est absolue. Avec les machines dynamo-électriques, au contraire, l'inducteur est essentiellement variable. Si les charbons viennent à se toucher dans la lampe, la résistance extérieure devient nulle et la machine à vapeur doit développer une force double pour entretenir le mouvement. La machine électrique s'échauffe, brûle, et ne tarde pas à être mise hors de service.

La machine magnéto est inférieure à la machine dynamo-électrique, au point de vue du volume, du poids et comme prix d'achat, mais elle exige moins de force motrice, a un rendement supérieur, ne s'échauffe jamais et n'a jamais besoin de la moindre réparation. Il y a de la place pour tout le monde au soleil ; je ne viens pas ici faire le procès aux constructeurs de machine dynamo-électriques : chacune de nos machines a ses avantages et ses inconvénients. Je ne réclame pour la machine magnéto-électrique qu'une chose c'est de pouvoir construire, en temps voulu, toutes celles qui sont demandées.

La machine qui est adoptée aujourd'hui pour le service des phares est composée de cinq anneaux, portant chacun seize bobines, ce qui fait en tout quatre-vingts bobines. La machine est montée, vingt bobines en quantité et quatre seulement en tension. Nous brûlons ainsi des charbons de 23 millimètres de diamètre, cela donne une moyenne de mille cinq cents à mille six cents carcels, à la vitesse où nous marchons. Mais plus les progrès sont grands, plus les besoins augmentent. Aujourd'hui, mille cinq cents carcels ne suffisent déjà plus. Il y a vingt ans, on montait les phares de La Hève

et on se contentait de cent trente carcels ; aujourd'hui le phare de Planier, dans la Méditerranée, donne à peu près huit cents carcels par le beau temps, et mille deux cents par le mauvais temps.

La phare de Lizard, en Angleterre, fournit mille cinq cents carcels par tous les temps ; on trouve encore que cela n'est pas suffisant, et les ingénieurs du Trinity-House réclament une moyenne de deux mille carcels. Dans quelques années d'ici, les deux mille carcels, à leur tour, ne suffiront plus, et il en sera comme des cent trente carcels de l'origine. Il y a cependant une limite à laquelle il faudra bien s'arrêter ; on ne percera jamais les brouillards épais, les brumes intenses, puisque le soleil lui-même n'y parvient pas.

Voilà, Messieurs, ce que j'avais à vous dire sur les machines magnéto-électriques. Si j'ai l'honneur de vous voir au palais, je vous montrerai tous les appareils des phares. Ces machines peuvent alimenter jusqu'à quarante régulateurs, huit par circuit. Je vous les montrerai éteints, et allumés, de manière que votre opinion soit parfaitement arrêtée sur le genre de travail qu'on peut demander aux machines magnéto-électriques.

M. le Président. Je remercie M. de Méritens de sa communication sur les machines magnéto-électriques; je le remercie également de ce qu'il veut bien se mettre à notre disposition pour nous expliquer ces machines à l'Exposition.

Messieurs, après avoir examiné dans nos premières séances, les principes élémentaires de l'électricité, nous allons, maintenant, aborder les diverses applications qui en ont été faites, et, dans la prochaine séance, nous étudierons celles qui se rapportent à l'exploitation des chemins de fer.

On se réunira aujourd'hui à deux heures au palais de l'Exposition, pour la visite des machines dynamo et magnéto-électriques.

La séance est levée a onze heures et demie.

Note sur la 5e visite aux Appareils de la Classe 3.

MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES ET DYNAMO-ÉLECTRIQUES.

La visite a lieu sous la conduite de MM. de Méritens, Boistel et Franck-Géraldy.

Machines de Méritens. — Ce constructeur expose un type de machine magnéto-électrique appliqué à l'éclairage des phares. — Les machines exposées sont destinées aux phares de Dunkerque et des Baleines (Charente-Inférieure). Ce générateur présente beaucoup d'analogie avec l'ancienne machine de l'Alliance; seulement les faisceaux aimantés au lieu d'agir par leurs faces latérales sur les noyaux de fer des bobines induites, exercent leur action directement, en bout, sur le fer et sur le fil des bobines de l'anneau. A l'action inductrice des machines de l'Alliance, s'ajoute l'induction sur les spires de la machine Gramme. Les administrations publiques de divers pays, après nombreuses expériences, ont préféré ces machines à cause de la régularité de leur courant, et de leur économie au point de vue de la force motrice. Les courants des machines dynamo-électriques sont variables, car il est difficile de leur imprimer une vitesse constante, de plus les glissements de la courroie donnent lieu à des désaimantations dans les électro-aimants inducteurs. La stabilité des aimants permanents évite ces nombreux inconvénients.

M. de Méritens expose également une machine à courant continu, dans le détail de laquelle il serait trop long d'entrer, cette machine sera avantageusement employée dans les travaux de la galvanoplastie, qui exigent une grande régularité et plus spécialement encore pour le chargement des piles secondaires, opération pour laquelle les dynamo. présentent de graves inconvénients.

Société Gramme. — Cette Société expose un grand nombre de machines exécutées par l'inventeur. Elles sont toutes du type connu, citons cependant comme nouveauté un générateur alimentant dix foyers lumineux à arc, disposés en série. Nous retrouvons dans l'Exposition de nombreux spécimens du type Gramme, fabriqués par MM. Mignon et Rouart, Breguet, Sautter et Lemonnier; Ducommun, de Mulhouse; Jaspar, de Liège; Dolman fils, de Barcelone.

Machines Siemens. — Ces Messieurs exposent dans trois sections:

France, Allemagne et Angleterre. Leur collection comprend les types primitifs des moteurs W. Siemens et Hefner von Altenech. — La première fut construite en 1865, la seconde est la première machine à courants continus, elle date de 1872.

Compagnie Parisienne. — Nous trouvons dans cette exposition un grand nombre de types différents : cinq modèles du générateur Siemens à courants continus, une machine du même inventeur à courants alternatifs, un grand nombre de moteurs Gramme, une machine magnéto-électrique de Méritens, un modèle très élégant de générateur magnéto-électrique type de l'Alliance. Sur l'arbre tournant de ce moteur sont clavetés six châssis circulaires, munis chacun de 56 aimants permanents composés, disposés radialement autour de l'arbre en sept jeux. Chaque aimant comprend six lames en acier placées en fer à chevalet et aimantées séparément.

Dans cette exposition nous trouvons un type un peu différent de ceux connus jusqu'alors. La machine de Wilde, qui peut se rapprocher du moteur Siemens à courants alternatifs, mais qui en diffère en ce que les bobines d'induction contiennent des noyaux en fer n'existant pas dans l'appareil Siemens ; de plus, une des bobines est séparée pour produire l'excitation dans les électro-aimants. — Cependant dans le cas où plusieurs machines fonctionneraient ensemble ; M. Wilde préfère adjoindre au système une excitatrice spéciale. — Cette machine permet de produire suivantson mode d'agencement, soit des courants alternatifs, soit des courants continus.

Machine de R. S. Gülcher. — Dans cette machine, le champ magnétique est produit par huit électro-aimants horizontaux, disposés en deux groupes de quatre. Les extrémités libres de ces électro, sont placées en face les unes des autres, les extrémités opposées sont fixées à deux châssis circulaires portant au centre les coussinets de l'arbre principal, et sont reliées entre elles par une pièce polaire en forme de V, dont l'ouverture comprend l'anneau d'armature. — L'armature mobile est un anneau plat en fer supportant des bobines dont le fil est enroulé comme dans celles de l'armature Gramme, ces bobines sont à distance l'une de l'autre, ce qui met une portion du fer de l'anneau à découvert. — Le commutateur est cylindrique avec autant de sections qu'il y a de noyaux sur l'armature, il est très long, ce qui exige des brosses collectives de grande largeur, cette disposition évite les étincelles qui se produisent toujours quand le contact est mal établi entre le commutateur et les balais.

Machine dynamo-électrique du docteur Hopkinson. — La maison Latimer Clarck, Muirhead et Cie, a construit deux modèles des machines de cet inventeur, l'une produisant des courants continus, l'autre des courants

alternatifs. — Ces machines comprennent : un cylindre horizontal en fonte de $0^m,50$ de diamètre et de $0^m,60$ de largeur, percé de trous, c'est dans ce cylindre que sont compris les électro-aimants et l'armature mobile, l'axe du cylindre coïncide avec l'axe de l'arbre tournant. Les électro-aimants sont très courts à profil de secteur, disposés en deux séries de dix autour de l'axe, les extrémités libres d'une série sont en face de celles correspondantes de l'autre série ; absolument comme dans la machine à courants alternatifs de Siemens ; décrite par M. G. Boistel. — Entre ces deux systèmes d'aimants formant champ magnétique, tourne un disque de fer dont les faces opposées, sont garnies de dix renflements en forme de secteur ayant 20 millimètres d'épaisseur. Autour de ces renflements sont montées des bobines de fil de cuivre, reliées à un commutateur de Gramme. La particularité de l'armature *Hopkinson* est la suivante ; les noyaux sur le côté opposé du disque ne sont pas coaxiaux ; mais se dépassent les uns les autres ; ceux d'un côté avançant par rapport à ceux de l'autre, d'un espace égal à la demi-distance de leur écartement ; de cette façon, si une bobine d'un côté du disque est coaxiale avec une paire d'aimants, deux bobines du côté opposé se trouvent moitié en dedans moitié en dehors du champ magnétique, l'une le quittant quand l'autre y entre. — Cette disposition assure une grande régularité dans la production du courant.

Machine Schückert. — C'est une simple modification du type Gramme, dans les positions respectives de l'armature et des électro-aimants.— Dans ce générateur l'armature est un anneau plat tournant dans un champ magnétique très restreint, constitué par quatre électro-aimants horizontaux, excités par le courant direct. Les pièces polaires sont constituées par des plaques segmentaires parallèles à l'anneau, ce qui fait que ces courants sont induits dans les portions radiales des bobines formant les côtés plats de l'armature. Le courant produit a une grande force électromotrice, condition satisfaisante dans un transport de force à distance ; mais qui exige des précautions dans l'isolation du fil conducteur.

Machine Jablochkoff. — M. Jablochkoff, frappé de quelques inconvénients que présente le moteur Gramme, quand on l'applique à la production de la lumière, l'a modifié dans quelques détails.

Machine Edison. — Cette machine est mise en mouvement par un moteur à vapeur de 125 chevaux, la transmission est directe. Tout cet ensemble repose sur une même plaque de fondation constituant un système parfaitement rigide. Le poids total est de 17 tonnes, dont 10 pour les électro aimants et $2^t,5$ pour l'anneau.

Le champ magnétique est constitué par huit longs électro-aimants horizontaux en dérivation sur le courant de la machine. Trois de ces

électro-aimants sont fixés à la pièce polaire inférieure, les cinq autres à la pièce polaire supérieure. Cette irrégularité dans la disposition des électro-aimants par rapport aux pièces polaires, semble résulter d'un défaut de construction.

L'armature cylindrique, genre Siemens, tourne dans un espace compris entre les deux pièces polaires. La partie induite se compose de barres de cuivre disposées autour de la circonférence du noyau cylindrique en fer, et isolées l'une de l'autre, par une substance qui paraît être du carton. Des disques de cuivre sont placés à chaque extrémité de l'armature, enfilé sur l'arbre central et isolés entre eux comme les barres.

Chaque disque est relié par sa périphérie à l'une des barres induites, la barre diamétralement opposée étant également reliée à ce même disque en un point symétrique du précédent point d'attache de la première barre. Cette dernière est reliée de la même façon à l'un des disques placé à l'autre extrémité, lequel communique à son tour avec la barre voisine de celle prise comme point de départ.

Le noyau de fer est enveloppé d'un circuit électrique complet. Il y a 138 barres de $1^{m},05$ de long et autant de disques. Le commutateur est du type Gramme. — La machine fait environ 350 tours à la minute et développe une force électro-motrice de 100 volts.

Machine Brush. — La particularité de cette machine consiste dans la disposition des bobines induites sur l'anneau d'armature. Cet anneau a environ 50 centimètres de diamètre pour le type normal; il est formé d'une couronne en fonte de section rectangulaire, présentant des cavités pour loger les bobines; il est creusé d'une série de cannelures parallèles à ses faces latérales, qui ont pour but de réduire le poids, de favoriser le refroidissement, et de rompre les courants induits dans la fonte. Toutes les bobines sont roulées dans le même sens, elles sont groupées par paire deux à deux opposées, les deux bobines de chaque groupe, sont reliées entre elles par les extrémités intérieures de chaque fil, les extrémités extérieures traversent l'axe creux de la machine et se rendent au commutateur. Ces commutateurs sont disposés de telle sorte qu'ils envoient alternativement un courant dans le circuit et à travers les électro-aimants inducteurs qui se trouvent excités.

CHRONIQUE

SOMMAIRE. — Le développement de la mécanique industrielle depuis cinquante ans (*suite et fin*). — Locomotive à quatre cylindres, système Shaw. — Construction maritime sur la Clyde. — Fabrication de l'acier Bessemer. — Ventilation des longs tunnels. — Ventilateurs et pompes centrifuges.

Le développement de la mécanique industrielle depuis cinquante ans (*suite et fin*). — Passant à l'examen des machines en usage sur les chemins de fer, Sir Fréderick Bramwell, rappelle que, lorsque l'Association Britannique se réunit en 1831, le chemin de fer de Liverpool à Manchester était ouvert depuis un an seulement. Bien que le chemin de Stockton à Darlington, construit pour le transport du charbon, portât néanmoins des voyageurs depuis 1825, on peut considérer le chemin de Liverpool à Manchester comme le premier exemple du système actuel de chemins de fer.

Les machines pesaient de 8 à 10 tonnes et marchaient à la vitesse de 30 kilomètres avec des pressions de vapeur de 3 à 3,5 kilogrammes. Les rails étaient légers et fixés par des coussinets sur des dés en pierre qui jouaient le rôle d'enclumes pour le martelage des bouts des rails et par suite pour la destruction rapide de la voie. Les machines avaient un faible effort de traction et on avait l'habitude de disposer au pied des rampes une machine de renfort qui poussait le train jusqu'au sommet. On ne connaissait pas l'injecteur et les petits chevaux étaient peu employés; on était donc obligé de faire courir les machines sur la ligne lorsqu'on manquait d'eau à la chaudière pendant un stationnement prolongé. Pour y obvier, on disposait quelquefois sous une voie de garage une paire de roues avec les jantes affleurant le niveau des rails. On y amenait la machine qu'on calait pour l'empêcher de se déplacer et ses roues tournaient sur les roues en question, de sorte qu'on pouvait ainsi alimenter sans gêner la circulation sur les voies; c'est ce qu'on appelait des galets d'alimentation. On ne connaissait alors ni la coulisse ni la détente pratique de la vapeur. Le changement de marche s'effectuait par la manœuvre des tiroirs à la main, comme on l'a fait si longtemps pour les machines des bateaux. Il est bien certain que lors de la première réunion à Manchester de l'Association Britannique, bien que le chemin fut ouvert depuis un an, les 300 membres qui assistèrent à la réunion y vinrent transportés par les diligences, mode de transport qui pouvait avoir ses charmes en été et par le beau temps, mais dont le climat ordinaire de l'Angleterre ne saurait faire regretter l'usage exclusif.

En 1881, il y a des chemins de fer à peu près partout. On emploie des rails d'acier d'un poids double de celui des rails en fer primitifs et des traverses en bois qui disparaîtront probablement pour faire place aux traverses en fer. Les joints sont éclissés et cette partie jadis si vulnérable est aussi solide et durable que le reste de la voie. La vitesse atteint 80 à 90 kilomètres pour les trains de voyageurs et les machines à marchandises du poids de 45 tonnes traînent à vitesse réduite des trains de charbon de 800 tonnes. L'injecteur, qui permet d'alimenter en stationnement, est devenu d'un usage général ainsi que la coulisse à laquelle on doit certainement en très grande partie la bonne utilisation de la vapeur dans les locomotives.

Malgré l'augmentation de vitesse, les accidents de chemins de fer sont devenus plus rares qu'autrefois. Si la population entière de Londres faisait un voyage en chemin de fer, il n'y aurait qu'un cas de mort sur le nombre. Une mort par accident pour quatre millions de voyageurs indique un état de sécurité très satisfaisant si on considère que les morts par accident dans les rues de Londres atteignent le chiffre de 200 à 300 par an. Cette sécurité relative est due en grande partie à l'emploi du block-system rendu pratique par le télégraphe électrique et à celui de l'enclanchement des aiguilles et des signaux.

Les freins continus de systèmes divers qui peuvent détruire 5 kilomètres de vitesse par seconde, c'est-à-dire arrêter en 20 secondes un train marchant à 100 kilomètres et, en 10 secondes, un train marchant à 50 kilomètres, sont un très grand progrès. A la vitesse de 80 kilomètres un train peut être arrêté en 15 à 20 secondes, c'est-à-dire sur une longueur de 160 à 200 mètres. En outre, en cas de rupture d'attelage, les freins se serrent spontanément dans les deux parties du train et amènent l'arrêt en peu d'instants en empêchant des collisions très dangereuses.

L'emploi des bandages sans soudure est aussi une grande cause de sécurité. Sir Frederick Bramwell a eu l'honneur de lire, il y a quelques années, à la réunion de l'Association à Birmingham, un mémoire sur les bandages sans soudure, dans lequel il annonçait que dans dix ans on ne ferait pas un bandage autrement, prophétie qui s'est accomplie; il indiquait en même temps qu'on ne tarderait pas à faire aussi des anneaux sans soudure pour les chaudières pour supprimer les joints longitudinaux; cela se fait déjà actuellement et on peut supposer que dans vingt ans on ne connaîtra plus que par ouï-dire les rivures longitudinales dans les chaudières.

Si on examine la question des moteurs autres que la vapeur d'eau, on peut rappeler qu'en 1831, à côté de la vapeur, on voyait les roues hydrauliques, les moulins à vent, les moteurs animés; on connaissait aussi la machine à air chaud de Stirling. La machine à gaz avait été proposée dès 1824, mais elle n'était pas entrée dans la pratique. On connaissait les moulins à marée, moulins dont il existe encore quelques exemples. L'auteur se souvient d'en avoir vu plusieurs sur la côte entre Brighton et Newhaven, entre Greenwich et Woolwich, et à Northfleet, etc.; il est à regretter

qu'on ait si peu étudié cette question qui eût pu dans certains cas être l'objet d'applications intéressantes.

En 1881, on retrouve les mêmes roues hydrauliques et les mêmes moulins à vent, mais on a considérablement perfectionné les turbines et ces machines permettent d'utiliser des chutes de grande hauteur qu'on n'eût pu employer qu'avec les immenses roues qu'on a pu voir à Glasgow et dans l'île de Man et dont le diamètre atteignait 80 pieds anglais (24^{m},40). On obtient d'excellents résultats pour les fortes charges d'eau avec des turbines et avec les machines à colonne d'eau que sir William Armstrong a portées à un si haut degré de perfection. La machine à gaz, née presque d'hier, est un moteur très économique; on a fait beaucoup de tentatives pour améliorer les machines à air chaud et quelques systèmes fonctionnent avec succès, mais elles développent peu de puissance et il est douteux qu'elles soient appelées à se répandre beaucoup.

En 1831 on ne connaissait guère comme moyen de transmission de force à grande distance, en dehors bien entendu des arbres, courroies, etc., que des tiges telles que celles des pompes de mine et autres; toutefois on a employé, même sur une assez grande échelle, la transmission pneumatique par le vide, due à John Hague de l'Yorkshire, application oubliée aujourd'hui. En 1881, on a divers systèmes de transmission à distance dont le premier est le câble télodynamique qui a reçu une si remarquable application à Schaffouse. On peut voir dans cette ville, à 2 ou 3 kilomètres au-dessus de la chute du Rhin, un bâtiment situé en face de la ville sur l'autre rive du fleuve, lequel bâtiment contient des turbines de grande puissance. Ces turbines activent des câbles télodynamiques qui courent tout le long de la ville et distribuent la force partout où elle peut être utilisée. Nous avons également les transmissions par l'air comprimé très usitées dans les travaux souterrains, dans les mines et les tunnels. On en a fait l'application aux tramways; Sir Frederick Bramwell a vu à Nantes des voitures automobiles mues par l'air comprimé, avec l'ingénieuse combinaison d'une bouillote à eau chaude qui réchauffe et sature l'air pour éviter la formation de glace dans la détente de l'air comprimé. Ce système a eu un succès réel au point de vue commercial et mécanique et l'auteur croit qu'il peut recevoir encore des perfectionnements considérables.

On peut transmettre des forces à distance par de longues conduites de vapeur et par des conduites d'eau sous pression. Sir William Armstrong, en ajoutant son accumulateur à ce dernier système, en a tiré un très grand parti. Avec une charge de 50 kilogrammes par centimètre carré, de l'eau débitée à la vitesse de 0^{m},30 par seconde par un tuyau de 25 millimètres de diamètre peut fournir un cheval-vapeur. Une conduite de 0^{m},25 débitant l'eau à la vitesse de 0^{m},90 par seconde donnerait 300 chevaux. La perte par les frottements serait très faible, il est probable qu'avec une conduite de 0^{m},25 de diamètre et 1600 mètres de longueur, on ne perdrait pas plus d'un kilogramme de charge sur 50, soit 2 pour 100.

Pour les grues et élévateurs de charges, l'humanité doit une véritable reconnaissance à sir William Armstrong. On voit encore, dans les anciens docks, des grues entourées de lourdes constructions en charpente; ces grues ne fonctionnent plus, mais, lors de la première réunion de l'Association Britannique, on pouvait voir, dans ces constructions, des roues à chevilles que faisaient tourner des hommes. On doit se féliciter de voir des êtres intelligents être admis à gagner leur vie dans un travail plus relevé, et ne plus être assimilés à des écureuils ou même à des condamnés. Un nouveau mode de transmission, auquel il a déjà été fait allusion, est l'emploi du gaz. L'auteur croit que les machines à gaz ont un grand avenir et que la vapeur n'est peut-être pas la manière dont on utilisera plus tard le combustible; qui sait si, dans cinquante ans d'ici, le moteur par excellence de nos jours excitera autre chose qu'un intérêt rétrospectif et historique? Quant à la question de la transmission par l'électricité, l'auteur sera sobre d'appréciations à ce sujet; il se bornera à rappeler que sir William Armstrong a utilisé une chute d'eau située à 1 1/2 kilomètre de son habitation, pour mettre en mouvement une turbine, laquelle actionne une machine dynamo-électrique dont le courant effectue l'éclairage de la maison entière. On employait d'abord des foyers à arc, mais ils ont été remplacés par des lampes à incandescence avec le succès le plus complet. On voit que, dans ce cas particulier, un faible cours d'eau éclaire une maison à une distance assez grande. Il est certain qu'il y a cinquante ans, on eût considéré comme chimérique l'idée de faire de la lumière avec une chute d'eau, sans l'intervention d'aucune espèce de combustible.

Si on passe à la fabrication du fer et de l'acier, on peut rappeler qu'en 1831, l'emploi de l'air chaud, dans les hauts fourneaux, était tout récent. La Compagnie de Butterly venait de l'essayer, quelques jours seulement avant la réunion de l'Association, et le procédé se répandait difficilement; on ne chauffait l'air qu'à 300 degrés. Les hauts fourneaux avaient au plus 12 mètres de hauteur et 3^{m},60 de diamètre, et produisaient 60 tonnes par semaine. On dépensait 2,5 tonnes de combustible par tonne de métal et on n'essayait pas d'utiliser les gaz qui brûlaient au gueulard, en éclairant la nuit les campagnes, à plusieurs milles à la ronde. En 1881, les hauts fourneaux ont jusqu'à 30 mètres de hauteur et 7^{m},50 de diamètre, ils peuvent produire de 500 à 800 tonnes par semaine, ils sont fermés par le haut et par le bas, et le vent est chauffé à 650 degrés, dans les appareils de M. E. A. Cowper. Le chimiste a actuellement autant de part que le mécanicien dans la métallurgie du fer et personne, à coup sûr, n'a plus fait, pour cette question, que M. Isaac Lowthian Bell.

Le puddlage et le laminage n'ont subi de changement que par rapport aux dimensions des appareils; les puddleurs mécaniques ne se sont pas répandus pas plus que les procédés pour produire le fer directement du minerai. En 1831, on ne dépassait pas pour les tôles des poids assez faibles, tandis qu'en 1881 on produit des tôles de chaudières pesant quatre fois autant. Un *blue book* de 1818 contient un rapport d'une commission parle-

mentaire sur les explosions de chaudières, dans lequel il est indiqué que, dans le nord de l'Angleterre, on construit une sorte de machines qu'on appelle des locomotives et dont les chaudières sont faites en fer martelé et non laminé, parce que le fer laminé ne conviendrait pas à cet usage ; le rapport ajoute, qu'avec l'emploi du fer martelé, on peut compter sur une durée d'au moins un an pour la chaudière. En 1831, c'est-à-dire treize ans plus tard, on avait augmenté sans doute les dimensions des tôles laminées, mais on n'aurait évidemment pas pu prévoir que, cinquante ans plus tard, on laminerait des plaques de 55 centimètres d'épaisseur et de 30 tonnes de poids.

Le puddlage sera vraisemblablement bientôt une chose du passé. M. Harrison, ingénieur du North-Eastern, a dit à l'auteur qu'il y a dix-huit mois, sa Compagnie avait demandé des soumissions pour des rails, soit en fer, soit en acier, pour des quantités entre 2,000 et 10,000 tonnes. Il s'est présenté dix fournisseurs. Quelques-uns n'ont pas fait de propositions pour le fer, mais pour ceux qui ont soumissionné les deux, les prix ont toujours été supérieurs pour le fer.

Quant à la fabrication de l'acier, en 1831, on ne connaissait que la cémentation qui produisait de l'acier-poule, lequel était brisé en fragments et fondu au creuset, pour être transformé en lingots de 25 à 30 kilogrammes; on vendait l'acier au kilogramme; personne n'avait jamais entendu parler d'une tonne d'acier. En 1881, on convertit la fonte en acier par le procédé que sir Henry Bessemer a produit avec une si remarquable persévérance, ou bien on le fabrique sur sole par un procédé qui n'a réussi qu'au moyen des températures élevées, obtenues par les fours du docteur Siemens. On obtient, par ces deux procédés, des masses d'acier à la fois, ce qui explique comment, ainsi qu'il a été dit tout à l'heure, on peut faire l'acier à meilleur marché que le fer. On ne peut, à ce propos, passer sous silence le procédé de compression de l'acier liquide de sir Joseph Whitworth qui réduit les soufflures du métal et le rend plus serré. Il faut également rappeler l'invention de MM. Thomas et Gilchrist qui permet d'employer, pour la fabrication de l'acier, des minerais contenant des matières étrangères qui les faisaient, jusqu'ici, rejeter pour cet emploi.

En 1831 il y avait déjà des ponts en fonte, mais on n'avait pas encore employé le fer sous autre forme que celle des ponts suspendus ; en 1881, les chemins de fer et les perfectionnements de la métallurgie ont rendu possible l'exécution de ponts de 120 mètres de portée, comme celui de Menai, et de 130 mètres comme celui de Saltash. Avec l'acier, on peut aborder la construction de travées de 510 mètres au pont du Forth. M. Barlow, ingénieur de ce grand travail, se propose d'employer 2,000 tonnes de métal pour résister à l'action du vent. Au sujet des fondations des ponts, on peut rappeler que lord Cochrane, cet esprit si ingénieux, a patenté, vers 1825 ou 1826, un mode de faire les fondations, fondé sur le principe de celui qui est devenu d'un usage général de nos jours, c'est-à-dire l'emploi de cylindres enfoncés à l'air comprimé. La spécification de la

patente de lord Cochrane (depuis comte de Dundonald) contient à peu près tous les perfectionnements employés de nos jours, dans les fondations des ponts, au moyen de cylindres. En 1831, les machines employées dans les ateliers étaient simplement des tours, des machines à percer et des machines à tarauder; les tours avaient rarement des chariots. Les chaudronniers employaient des poinçonneuses et des cisailles; à la forge, on n'avait que des outils à bras dont le plus fort était un marteau manœuvré par deux hommes. Dans la fabrication des ancres de marine, on employait une sorte de mouton mécanique qu'on désignait sous l'appellation significative d'Hercule. L'absence de machines-outils exigeait l'emploi d'ouvriers très habiles, surtout pour la forge de pièces qui, à l'époque, pouvaient passer pour très fortes.

Actuellement, les ateliers renferment une foule de machines, et en dehors des anciennes, des machines à raboter dans tous les sens, des machines à mortaiser à retour rapide, des machines à faire les écrous, à faire les rainures, des machines radiales; l'exactitude du travail est assurée par l'emploi des calibres de Whitworth. Les chaudronniers ont des machines à river, à vapeur, à air comprimé, hydrauliques, et des machines à cintrer les cylindres et les cônes, des machines à percer à forets multiples, pour les trous de rivets, des machines à raboter les tranches des tôles, des machines à rabattre les bords, à emboutir, des machines pour les tubes de chaudières locomotives ou marines; les poinçonneuses, lorsqu'on les emploie encore, sont faites de manière à percer les rangées de trous, en lignes parfaitement droites et à des intervalles rigoureusement égaux.

Les grosses pièces sont forgées avec de lourds marteaux-pilons, tandis que les petites sont étampées avec des machines ou sous des marteaux légers, à coups multipliés. Tous les ateliers sont munis de grues et chariots roulants à transmission mécanique, car, sans ces moyens perfectionnés, il serait impossible de manœuvrer les pièces qui entrent dans la composition des machines que l'on construit aujourd'hui.

Il ne faut pas oublier, dans un ordre d'idées plus modeste, une petite machine dont l'influence sur l'industrie domestique a été considérable, c'est-à-dire la machine à coudre. En 1831, on ne connaissait que la couture à la main. En 1846, Eldred Walker patenta une machine pour coudre les parapluies, qui était très simple et très ingénieuse, mais qui ne rappelait aucunement la machine actuelle, qui, cousant avec deux fils, fait vingt fois autant d'ouvrage que la meilleure ouvrière. Ces machines peuvent opérer non seulement sur toutes les étoffes possibles, mais aussi sur du cuir épais, et, ce qu'on peut considérer comme un tour de force, sur des feuilles de tôle, genre d'assemblage non prévu par les chaudronniers, et qui a été opéré par des machines à coudre de Blake. On est heureux de penser que l'introduction de la machine à coudre n'a pas été un malheur pour les ouvrières qui gagnaient leur vie par les travaux de couture, et, qu'au contraire, leur salaire s'en est trouvé augmenté.

Si nous passons aux machines agricoles, nous voyons qu'en 1831, on avait des machines à battre et des charrues doubles, on avait même proposé et essayé des charrues multiples, mais sans succès. Les moissonneuses avaient été essayées et abandonnées. Les semoirs mécaniques étaient peu employés; on connaissait les rouleaux brise-mottes et les herses à cheval, mais en somme, on labourait avec des chevaux en faisant un seul sillon à la fois, on moissonnait à la faucille, on liait à la main, on fanait au rateau, et les transports se faisaient dans des tombereaux attelés de chevaux. Actuellement, on se sert de charrues multiples, faisant cinq ou six sillons à la fois, mues par la vapeur, au moyen de câbles, avec deux machines locomobiles, ou une seule, avec un câble de retour; on fait même quelquefois, commander les charrues par une machine dont la position ne change pas, et un câble sans fin à grande vitesse; on a des moissonneuses conduites par des chevaux, mais ne pourra-t-on voir, dans un temps donné, ces chevaux remplacés par un accumulateur d'électricité ou par un réservoir d'air comprimé? Les moissonneuses sont disposées souvent de manière à lier les gerbes. On a des machines à faner qui secouent le foin en l'air et l'aèrent, les semences et les engrais sont distribués mécaniquement avec une précision parfaite. Le sol est drainé avec des charrues spéciales; les racines sont cuites à la vapeur et hachées mécaniquement pour la nourriture du bétail, et la machine à battre ne se contente plus de battre le blé et de séparer le grain, elle nettoye celui-ci et élève la paille pour en former des meules. Il y a peu de machines qui aient été aussi bien étudiées que la locomobile agricole; elle est économique de combustible et bien proportionnée dans toutes ses parties. Il serait injuste d'oublier que les perfectionnements de ces machines, aussi bien que ceux des machines agricoles en général, sont dus en très grande partie à l'initiative de la Société royale d'agriculture.

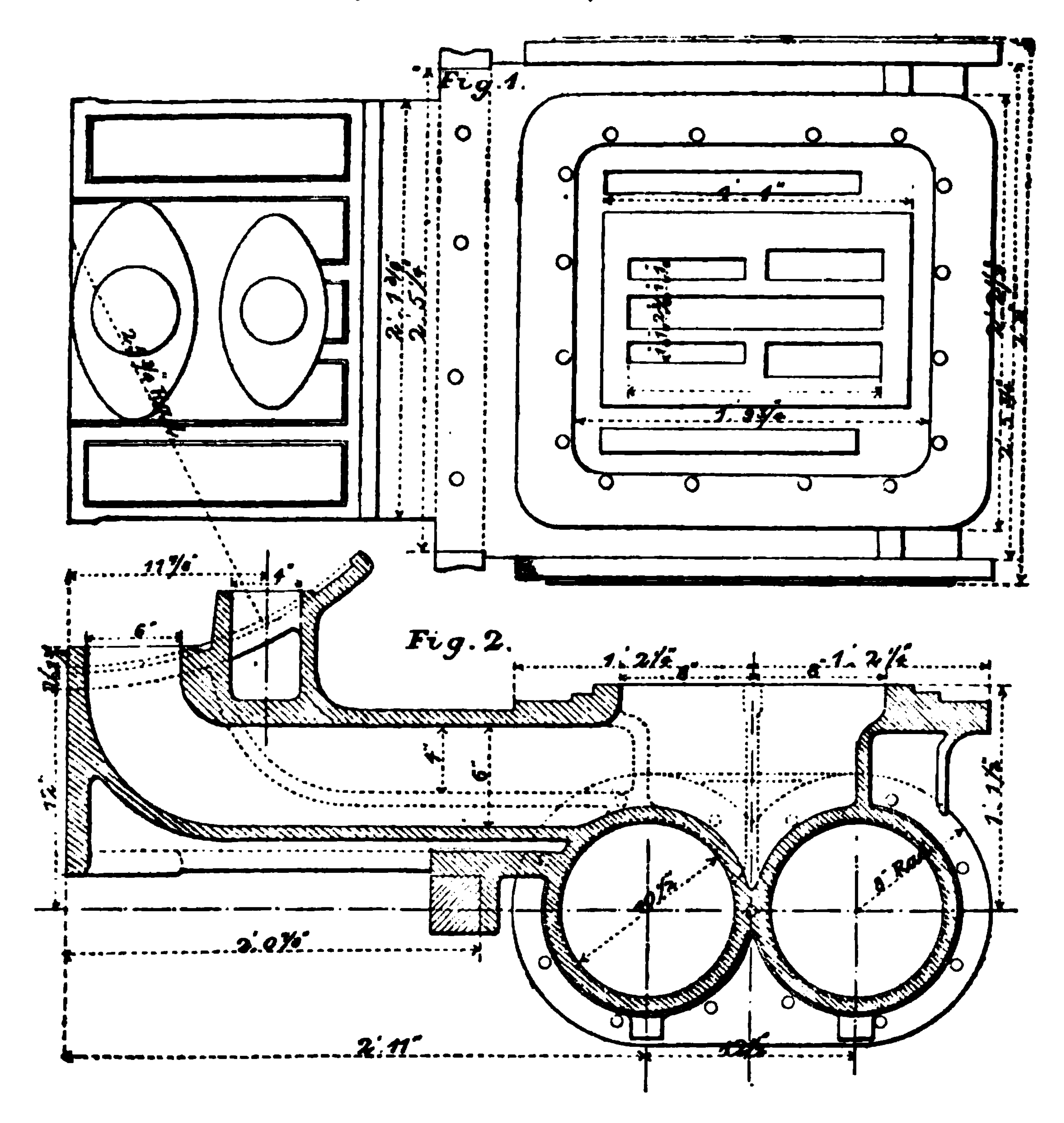
De grands progrès ont été faits dans les machines à imprimer, surtout pour journaux. En 1831, on avait déjà des presses à vapeur fournissant quelques centaines d'exemplaires à l'heure, et imprimant sur des feuilles séparées; il fallait ainsi plusieurs heures pour tirer quelques mille. Le seul moyen d'aller plus vite était de composer en double, ce qui entraînait un supplément de dépenses et des chances d'erreurs. Aujourd'hui, la presse Walter imprime, sur papier continu, au moins trois fois plus vite qu'autrefois, et l'emploi du clichage avec matrices en papier mâché permet de mettre une seconde presse en marche cinq minutes après la première, et une troisième cinq minutes encore après; grâce à ces procédés rapides, les paroles tombées à 3 heures du matin de la bouche de nos législateurs sont transmises à la province par le train qui emporte les journaux partant de la gare d'Euston à 5 h. 15.

L'auteur passe intentionnellement sous silence le télégraphe, l'artillerie, la fabrication des textiles, la meunerie, etc., soit parce que ces sujets dépassent sa compétence, soit parce qu'ils rentrent dans les limites d'autres sections, son but étant simplement de passer rapidement en revue les

points les plus importants qui peuvent faire apprécier le développement des arts mécaniques, pendant les cinquante dernières années.

(*Journal of The Society of Arts*).

Locomotive à quatre cylindres, système Shaw. — On sait que M. Haswell, directeur de la fabrique de machines des chemins de fer autrichiens de l'État avait exposé à Londres, en 1862, une machine locomotive dite *Duplex*, dans laquelle l'équilibre des pièces en mouvement alternatif avait été réalisé par l'emploi, de chaque côté de la machine, de deux cylindres, avec leur mécanisme agissant sur des manivelles à 180 degrés. Cette machine avait trois essieux dont un seul moteur placé à l'arrière, mais en avant de la boîte à feu. Le châssis était extérieur aux roues, il n'y avait qu'un tiroir pour chaque paire de cylindres, ceux-ci avaient 0m,276 de diamètre et 0m,632 de course, ils faisaient chacun avec l'hori-



zontale un angle de 2 1/2 degrés, l'un en dessus et l'autre en dessous. Le diamètre des roues motrices était de 2m,094 et la surface totale de chauffe de la chaudière de 125 mètres carrés.

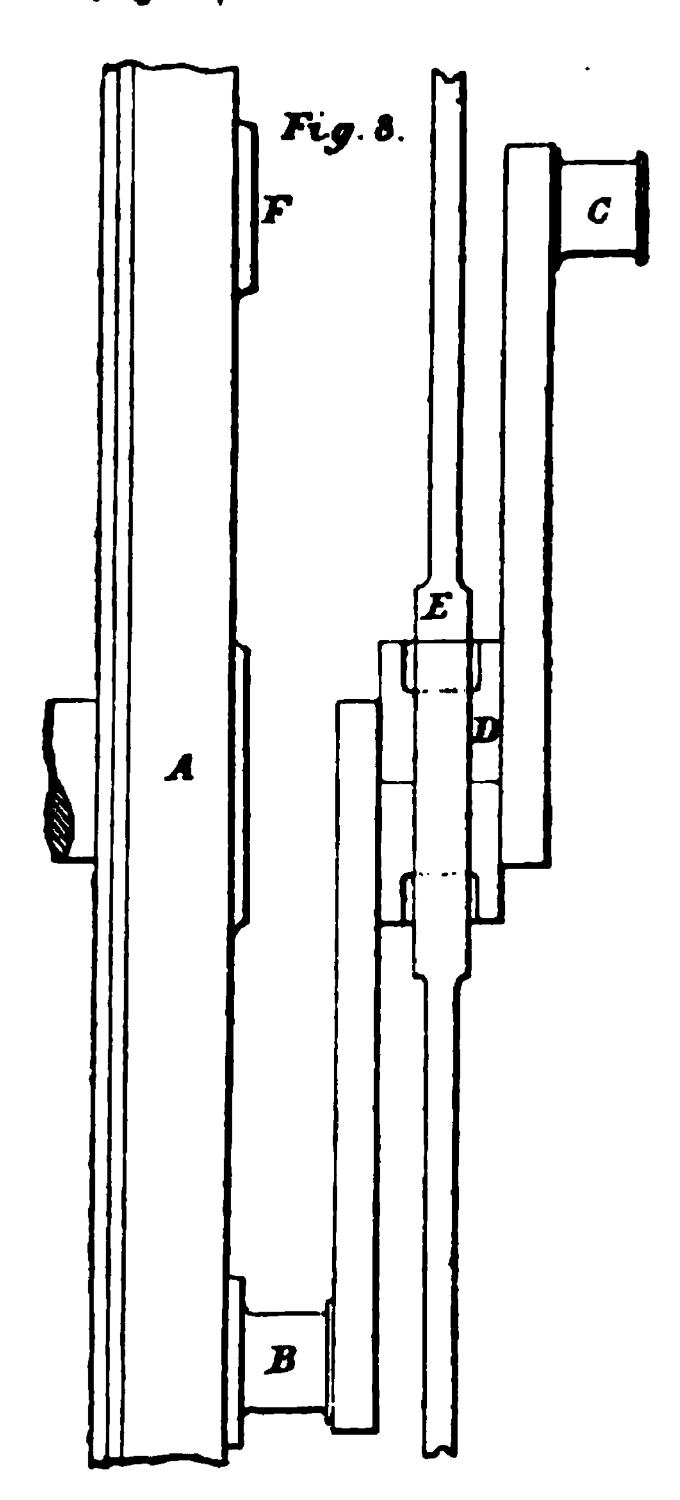
Il a été construit douze machines de ce type pour la Staatsbahn; le but d'équilibre qu'on se proposait était atteint, mais la solution était compli-

quée, surtout par une machine à roues libres où on peut réaliser l'équilibre d'une manière satisfaisante, avec des contrepoids très modérés ; d'ailleurs, déjà à cette époque, ces dernières machines devenaient insuffisantes, et la tentative n'a pas eu de suite.

Dernièrement, la question a été reprise, aux États-Unis, par M. Henry F. Shaw, de West Roxbury, État de Massachussets, qui a fait construire, aux Hinkley-Locomotive-Works, à Boston, une machine établie sur le même principe, mais avec deux essieux accouplés. Nous allons indiquer les dispositions essentielles du mécanisme en joignant à la description pour la rendre plus intelligible quelques bois qui nous ont été obligeamment prêtés par la direction du journal l'*Ingénieur*.

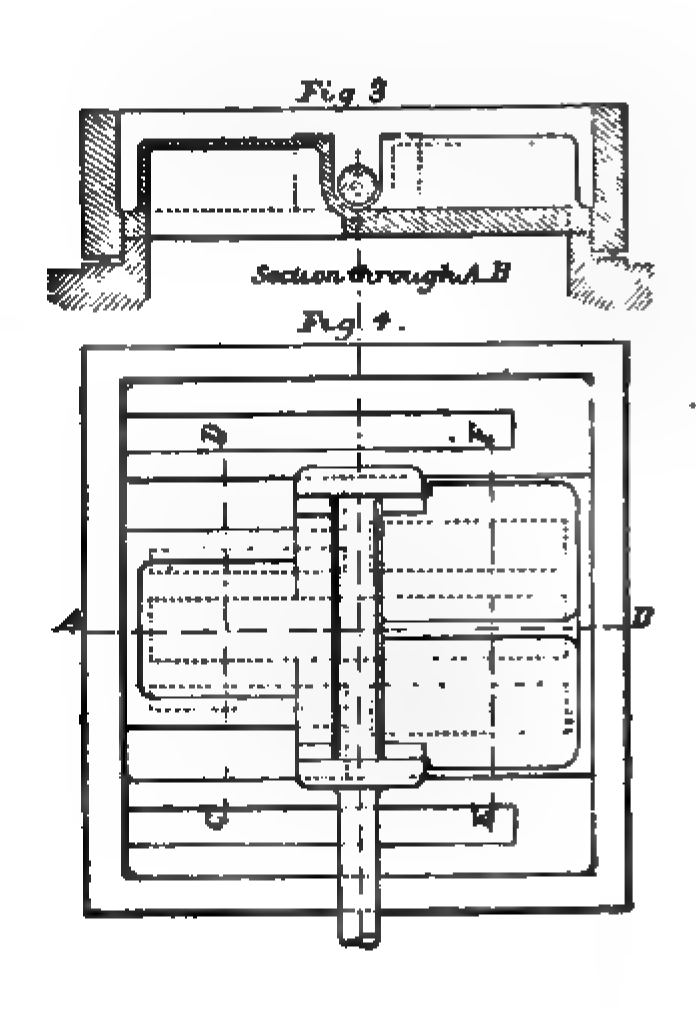
Les cylindres de $0^{m},266$ de diamètre et $0^{m},608$ de course sont, pour chaque paire, l'un à côté de l'autre, avec leurs axes dans le même plan horizontal, voir figures 1 et 2 ci-dessus, il n'y a par paire qu'un seul tiroir placé au-dessus des cylindres. Ce tiroir a une disposition particulière qui sera expliquée plus loin.

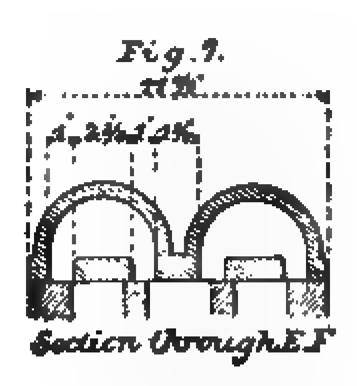
La bielle motrice du cylindre extérieur de chaque paire n'attaque pas directement le bouton C (fig. 8) de la manivelle de la roue motrice A,



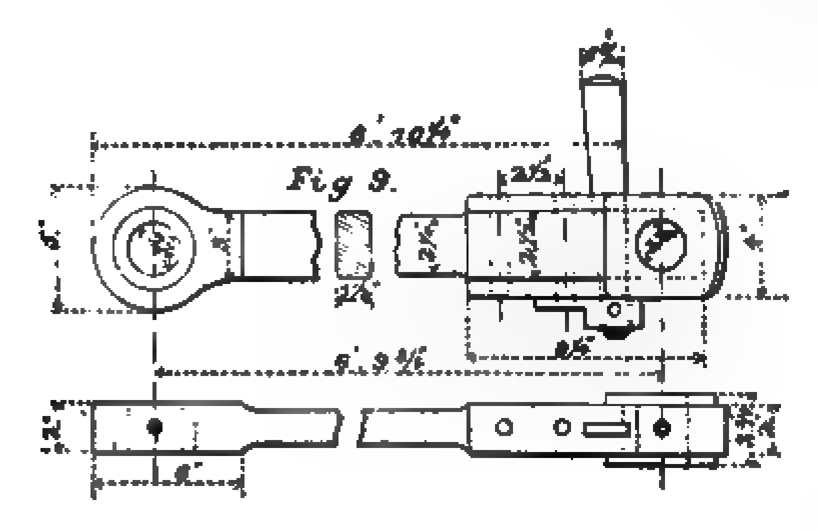
mais elle s'attache à une oreille de la bielle d'accouplement extérieure ; il en est de même pour la bielle motrice intérieure qui n'attaque pas le bouton B, mais une oreille de la bielle d'accouplement intérieure, voir

figures 9 et 10; cette disposition, peu usitée, n'est cependant pas sans exemple. Il y a ainsi, de chaque côté, deux bielles motrices et deux bielles d'accouplement et on évite de donner aux boutons des manivelles une trop grande longueur. Il y a entre les deux manivelles un longeron E, portant des boîtes à graisse D avec de légers ressorts de suspension, de sorte qu'il y a deux longerons de chaque côté.





Le tiroir unique pour chaque paire de cylindres a la disposition repré-

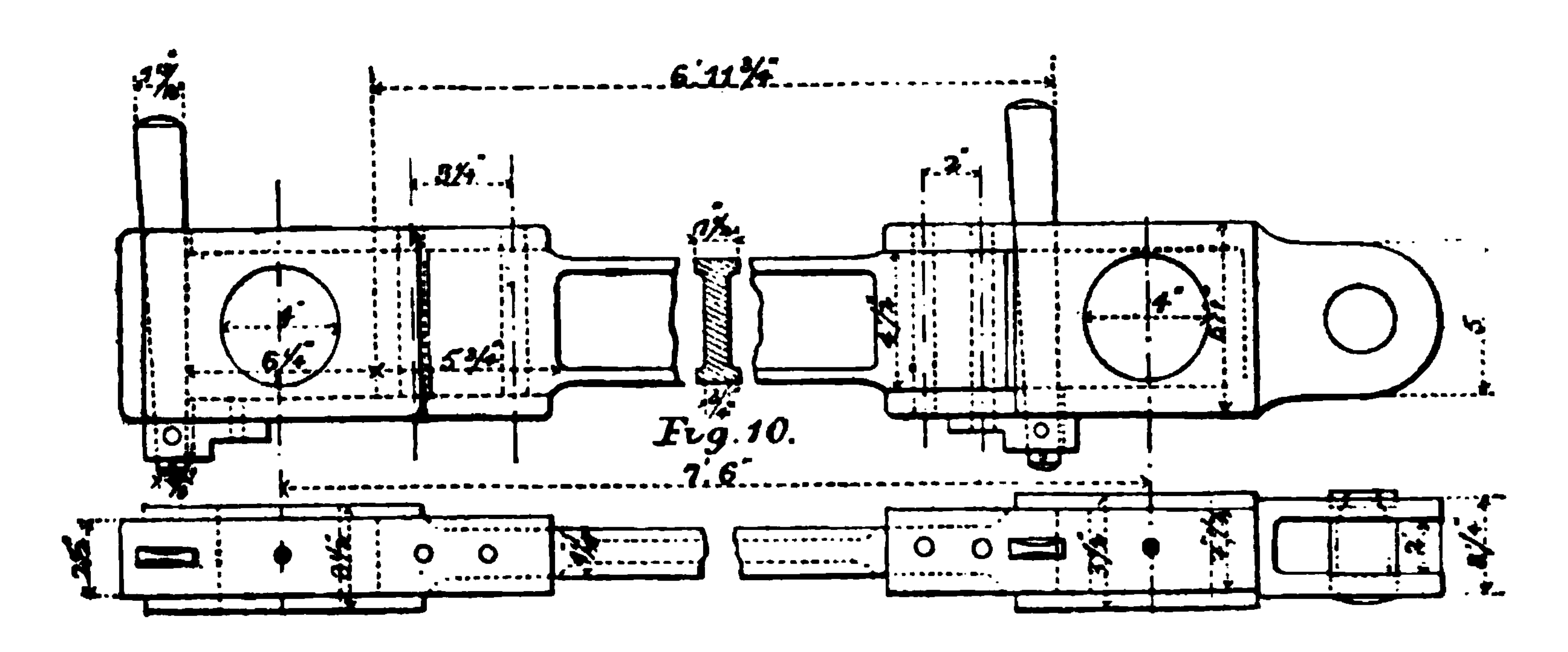


sentée sur les figures 3, 4, 5, 6 et 7. On voit que les deux cylindres reçoivent simultanément la vapeur à leurs extrémités opposées; en CD, la va-

peur arrive au tiroir à la manière ordinaire, tandis qu'en EF, elle passe au-dessous des bords du tiroir par les extrémités de la glace à la manière des tiroirs Trick et Allen. Malgré les craintes exprimées, ce tiroir paraît avoir bien fonctionné.

Les roues accouplées ont 1^{m},595 de diamètre, la surface de grille est de 1^{m},375, la surface de chauffe totale de 91,20.

La machine pèse en service 33 tonnes dont 22 sur les roues accouplées. Le reste de la machine ne présente rien de particulier. Cette machine a, paraît-il, une allure très stable, elle a fait des trains entre Boston et Providence, à la vitesse de 75 kilomètres à l'heure, vitesse considérable pour le diamètre des roues, sans qu'on remarquât aucun balancement ou mouvement de lacet. On a, de plus, suspendu la machine et on a fait tourner les roues à raison de 275 tours par minute, sans qu'il se soit produit aucune oscillation dangereuse. L'auteur, outre l'avantage de la suppression des contrepoids, revendique celui d'une plus grande stabilité, de l'augmentation de surface des portées travaillantes, la diminution de l'usure et la réduction des frottements.



Cette machine est en ce moment en service sur le Camden and Atlantic Railroad.

La construction maritime sur la Clyde. — Pendant le mois de novembre 1881, il a été lancé des divers chantiers de construction de la Clyde, 24 navires d'un tonnage collectif de 31,600 tonneaux. Ce chiffre indique un progrès considérable par rapport aux années précédentes et est presque double du chiffre présenté par le mois précédent. Les onze premiers mois de 1881 ont donné le chiffre énorme de 290,000 tonneaux qui dépasse de beaucoup ceux de toutes les années précédentes. Voici, du reste, le tableau comparatif de plusieurs années tant pour le mois de novembre que pour les onze premiers mois de l'année.

ANNÉES.	NOVEMBRE.		ONZE PREMIERS MOIS.	
	NAVIRES.	TONNEAUX.	NAVIRES.	TONNEAUX.
1881	24	31.170	215	290.060
1880	14	26.300	206	213.130
1879	13	19.500	163	163.300
1878	20	24.000	246	205.350
1877	20	21.100	208	155.400

Cette situation favorable semble devoir se continuer, car il vient d'être passé un grand nombre de marchés relatifs à la construction de nouveaux navires.

Ventilation des longs tunnels. — Un ingénieur des plus distingués, M. W. Pressel, vient de publier une petite brochure intitulée : *Ventilation und Abkühlung langer Alpen-Tunnels*, dans laquelle il étudie la question de l'aérage des grands tunnels qui atteignent déjà une longueur de très peu inférieure à 15 kilomètres, et se préparent à la dépasser prochainement, et propose, pour la résoudre, une solution originale.

La ventilation naturelle d'un tunnel dépend de :

1° La longueur;
2° La différence de niveau entre les deux têtes;
3° La section;
4° La profondeur au-dessous du sol naturel;
5° La température intérieure;
6° La température extérieure aux entrées;
7° La pression atmosphérique;
8° Le degré hygrométrique de l'air;
9° La direction et l'intensité du vent.

L'influence de ces éléments peut être considérable, et surtout celle des derniers, pour un travail donné, peut aider ou annihiler complètement, suivant les cas, la ventilation naturelle. Comme on l'a vu dans une note précédente (chronique d'octobre, page 378), l'intérieur d'un tunnel de montagne est à une température presque toujours différente de l'air extérieur, quels que soient la saison et le moment de la journée, la différence étant, bien entendu, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre; mais, malgré cette circonstance favorable, la ventilation naturelle des longs tunnels est presque toujours insuffisante, et la différence de niveau des extrémités, qui est au mont Cenis, par exemple, de 140 mètres, peut, loin de faciliter la ventilation, produire, au contraire, le refoulement de la fumée en

arrière. Les aspirateurs centrifuges fonctionnent très médiocrement, et il est évident qu'il y a quelque chose de plus satisfaisant à trouver.

M. Pressel, partant de ce principe qu'on peut déterminer un courant d'air en donnant à l'air des deux extrémités une densité différente, propose de produire cette différence, non en échauffant l'un des deux, mais en refroidissant l'autre, ce qui peut s'opérer sans grandes difficultés en employant à cet effet l'eau toujours abondante dans les vallées d'accès des tunnels alpins.

Des puits pratiqués aux deux extrémités d'un tunnel, et dans l'un desquels on amènerait un courant d'eau, déterminent une différence de température de 10°, ce qui est facile, l'eau des torrents étant toujours à une température relativement basse, et produisent un courant d'air très suffisant; les ouvertures des puits seraient munies d'écrans tournants et les têtes du tunnel seraient également pourvues de portes dont la manœuvre faciliterait la ventilation. Pour des tunnels moins longs ou ayant relativement peu de hauteur de terrain au-dessus, on pourrait avoir trois puits, l'un vers le milieu, les deux autres aux extrémités; le premier servirait à l'ascension de l'air à la température du tunnel, les autres à la descente de l'air refroidi.

L'idée est assurément ingénieuse et originale, et l'importance de la question, aussi bien que l'autorité de son auteur, peut faire supposer qu'elle ne tardera pas à être soumise à l'expérience.

Fabrication de l'acier Bessemer. — Dans la dernière réunion de l'*Iron and steel Institute*, M. W. D. Allen, de Sheffield, a fait une communication sur l'emploi d'un agitateur mécanique dans la fabrication de l'acier Bessemer. L'auteur fait remarquer que la combustion intermoléculaire, d'une part, et l'addition, à la fin de l'opération, de carbone et de manganèse, pouvant ne pas avoir lieu dans toute la masse d'une manière rigoureusement uniforme, il en résulte des veines ou stries de composition différente, et des soufflures dans les lingots; il se produit quelque chose d'analogue à ce qu'on observe dans des morceaux de verre non affiné.

M. Allen a essayé, il y a trois ans déjà, dans les ateliers de sir Henry Bessemer, à Sheffield, de produire une agitation dans la masse d'acier fondu. Il emploie, pour cet effet, l'appareil représenté ci-dessous, composé d'une palette en fer ajustée à une tige verticale, les deux recouvertes d'argile ou de *gannister* bien séché. On amène la poche pleine d'acier provenant du convertisseur, on la soulève verticalement avec une grue hydraulique, de manière que l'agitateur plonge dans le bain de métal, et on le fait tourner à raison de 100 tours environ par minute, au moyen d'une transmission par roues d'angle, en ayant soin de soulever et d'abaisser alternativement la poche, pour que la totalité du métal soit brassée. On abaisse ensuite la poche et on opère la coulée. Le métal ainsi obtenu est d'une homogénéité parfaite et exempt de soufflures; l'homogénéité, en dehors des meilleures qualités d'acier, est très précieuse pour la fabrication des tôles pour chaudières, si on veut obtenir le maximum de ductilité et de

cohésion. L'opération du brassage est très simple et n'entraîne aucune difficulté, le surcroît de dépense est absolument insignifiant; aussi cette opération est actuellement employée d'une manière courante dans les aciéries de sir Henry Bessemer, à Sheffield, et permet d'obtenir des moulages exempts de soufflures et d'une homogénéité parfaite de composition dans toute la masse.

Ventilateurs et pompes centrifuges. — Notre collègue, M. Courtois, vient de publier une *Étude sur les machines centrifuges, pompes et ventilateurs*, dont le but est de rendre compte de la généralité des faits observés dans la pratique, relativement à une question d'un haut intérêt et de donner les indications nécessaires pour diriger sûrement la construction et la conduite des machines de ce genre.

L'auteur commence par une étude cinématique des trajectoires des mouvements relatifs des corps guidés et soumis à l'action de la force centrifuge, et par des recherches comparatives sur le mode d'action des différents systèmes d'aubes dont peuvent être munis les appareils dont il s'occupe; la conclusion de cette première partie est que les aubes courbes, agissant par leur convexité, ont moins de frottement que les aubes radiales, et

surtout que les mêmes aubes agissant par leur concavité, et que les aubes courbes, agissant d'un sens ou de l'autre, tendent à atténuer l'accélération très grande du mouvement centrifuge radial.

Étant donnée la préférence à attribuer à l'aube convexe, de toutes les courbes à employer, la spirale centrifuge radiale de mouvements absolus, examinée dans l'application particulière qui lui fait commencer son mouvement de propulsion centrifuge excentrique, à partir de son origine sur sa circonférence polaire, se recommande à un plus haut degré que n'importe quelle autre courbe de même origine, parce qu'elle présente l'avantage de charrier, en débit excentrique centrifuge, le plus grand volume possible, de maintenir plus d'équilibre statique et de continuité dans les filets fluides sollicités à travers les canaux d'aubage, et enfin d'utiliser la totalité du mouvement de rotation, en évitant les chocs, les tourbillons et les pertes de travail qui en résultent.

La première partie du mémoire fournit aussi des éléments pour l'explication des phénomènes qui se produisent dans le débit des appareils centrifuges, et dont la loi n'avait pas jusqu'ici été formulée d'une manière précise.

L'auteur, dans la deuxième partie de son travail, étudie le fonctionnement des machines à force centrifuge, qui se divisent en pompes ou ventilateurs, suivant qu'elles agissent sur des fluides incompressibles ou compressibles. Il utilise largement pour cette étude les résultats d'essais faits par M. H. Tresca, président honoraire de la Société aux docks de Saint-Ouen, sur une pompe Neut et Dumont, dont le débit moyen de 262,5 litres par seconde, élevés à $6^{m},955$, correspondait à un rendement net réel de 0,58.

De la discussion de ces résultats, M. Courtois établit une théorie du fonctionnement des pompes centrifuges, d'où il déduit les proportions pratiques à donner à ces appareils; le diamètre d des tuyaux de conduite, tant à l'aspiration qu'au refoulement, étant la dimension qui sert de point de départ, et qu'il est facile de déterminer, on prend pour le diamètre extérieur 2 R du tambour mobile de 1,6 d, pour les petites et moyennes élévations, jusqu'à 2 d pour les grandes hauteurs. On donne aux ouïes centrales du tambour mobile pour diamètre, $\frac{2\,\mathrm{R}}{1.66}$, ce qui fait de d à 1,2 d.

La théorie des ventilateurs n'est qu'un cas particulier de celle des pompes centrifuges. Sans entrer dans des détails que ne comportent pas les limites d'une indication très sommaire, nous nous bornerons à dire que l'auteur conseille de donner aux ventilateurs deux ouïes dont la somme des sections soit telle, que la vitesse d'aspiration de l'air ne dépasse pas 10 mètres et soit plutôt réglée pour 5 mètres. La somme des sections des deux ouïes étant déterminée, on déduit le diamètre $2r$ de chacune, et on fait le diamètre extérieur du tambour mobile égal à $2\,\mathrm{R} = 4\,r$.

En somme, pour éviter une perte d'effet utile exagérée, on doit chercher

à employer l'air sous une pression la plus voisine possible de celle qui correspond à la rotation du tambour mobile, par l'arrangement des coudes, des conduites, etc., d'une part, et, de l'autre, en se servant d'un ventilateur présentant une section normale d'orifices d'aubage, égale au minimum, à 2 fois 1/2 la section théorique des buses à desservir sous la pression de régime, et en pratique plus grande et allant jusqu'à 4 fois cette section.

La conclusion de l'auteur est qu'on peut toujours faire, dans des limites pratiques, qu'un ventilateur construit d'une façon rationnelle fonctionne aussi avantageusement que la meilleure des machines soufflantes.

COMPTES RENDUS

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Séance du 17 *Octobre* 1881.

Communication de M. Daubrée, sur le cuivre sulfuré cristallisé, formé aux dépens de médailles antiques, en dehors des sources thermales, à Flines-les-Roches, Nord. Il existe à Flines-les-Roches, près de Douai, une nappe d'eau, d'environ 300 mètres de diamètre, employée actuellement au rouissage du lin. MM. Termink et Loustau ont trouvé que cette mare était, dès une antiquité reculée, l'objet d'un culte et que les habitants y jetaient en offrande à la divinité, des objets divers, notamment des monnaies; on retrouve, en effet, un grand nombre de monnaies, ces monnaies sont gauloises ou romaines, la plupart en bronze, quelques-unes en or; beaucoup de ces médailles, communiquées à M. Daubrée par M. Loustau, ont été attaquées et sont complètement enveloppées d'une substance cristallisée formée à leurs dépens. L'incrustation est formée, pour la plus grande partie, d'une substance noire cristallisée, à éclat métallique, qui consiste en sulfure de cuivre; la partie centrale est une substance feuilletée.

Toutes ces médailles étaient enfouies dans un vase d'un brun noirâtre, où se trouvent de nombreuses coquilles.

L'eau de la mare, soumise à l'analyse, n'a pas donné d'acide sulfhydrique

ou de sulfure; on peut donc dire que, dans l'eau de la mer de Flines, il n'existe pas de sulfure à l'état normal, mais seulement des sulfates que des matières organiques réduisent à l'état de sulfures. Le fait remarquable est, que cette transformation du métal s'est manifestée en dehors de sources thermales apparentes et à une température moins élevée que dans les exemples connus jusqu'à présent.

Séance du 12 Décembre 1881.

Note de M. F. Weil sur ses procédés de cuivrage direct de la fonte, du fer et de l'acier.

L'auteur indique que ces procédés, déjà présentés, dès le début, à l'Académie, par M. Dumas, ont donné des résultats qui ont complètement justifié les espérances conçues. Les fers et fontes cuivrés ont parfaitement résisté, depuis dix ans, à toutes les intempéries. Le cuivrage s'opère, selon les cas, de trois manières différentes :

Le premier moyen consiste à plonger les pièces dans les bains, au contact de fils de zinc; le cuivrage a lieu immédiatement et garantit ensuite le métal sous-jacent de l'attaque des acides.

Le deuxième moyen consiste à placer, dans le bain alcalino-organique de cuivre, où sont placés les objets à cuivrer, des vases poreux contenant une lessive de soude caustique et des plaques de zinc mises en communication, avec les objets à cuivrer, par un fil de cuivre.

Le troisième moyen consiste à cuivrer les mêmes objets, au moyen des mêmes bains et d'une machine dynamo-électrique.

M. Weil emploie, pour titrer les bains de cuivre, le procédé suivant : il introduit 10 c. c. du liquide dans un matras en verre blanc, y ajoute 30 à 40 c. c. d'acide chlorhydrique pur, fait bouillir et verse, jusqu'à décoloration complète, du protochlorure d'étain titré. Le volume du protochlorure d'étain employé indique la quantité de cuivre contenue dans le bain.

M. Weil dépose tous les métaux, tels que nickel, cobalt, antimoine, étain, etc., sur fonte, fer et autres métaux. Il emploie, à cet effet, des bains alcalino-organiques, d'une composition analogue à celle de son bain de cuivrage, et l'exécution du procédé se fait exactement par l'un ou l'autre des trois moyens décrits pour le cuivrage.

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE.

SEPTEMBRE 1881.

Rapport de M. SEBERT, sur un **compteur totalisateur électrique** construit par M. DUMOULIN-FROMENT.

Ce compteur est destiné à enregistrer, d'une façon continue, le total des nombres de tours exécutés par dix compteurs, placés à l'usine à gaz de la Villette et servant chacun à mesurer le nombre de dizaines de mètres cubes sortis d'autant de gazomètres pour se rendre dans la canalisation. Cet enregistrement devant se continuer sans interruption, pendant tout le cours d'une année, le compteur totalisateur doit faire connaître, à chaque instant, le nombre de mètres cubes de gaz livrés à la consommation, depuis le 1er janvier de l'année courante, nombre qui peut s'élever au total à 146 millions de mètres cubes.

Nous ne pouvons ici qu'indiquer le principe de l'appareil. Le nombre de tours de l'arbre du compteur n'est pas inscrit, comme dans les compteurs ordinaires, sur une série de cadrans successifs dont chacun note des unités différentes; les chiffres successifs qui forment le nombre sont portés sur la surface convexe d'autant de tambours montés sur un même axe, et viennent se présenter, dans leur ordre naturel, devant une fenêtre allongée, de sorte que le nombre enregistré se lit sans difficulté et sous la forme habituelle. Les rouages sont mis en mouvement par un poids moteur, et l'électricité n'a qu'à provoquer, à chaque contact, le déclanchement du rouage moteur suivi immédiatement d'un nouvel enclanchement.

C'est la première partie de l'appareil; la seconde, qui est la partie réellement nouvelle et originale, est un distributeur chargé de recueillir les émissions de courant destinées à faire marcher le totalisateur et de les distribuer, à intervalles convenables, pour donner à celui-ci le temps d'effectuer successivement les mouvements correspondants à chacune d'elles. Le principe du fonctionnement est l'emploi d'une série d'électro-aimants, mis isolément en communication avec les dix compteurs, de façon que chacun attire une armature, au moment où se produit le contact électrique qui marque la fin de chaque tour du compteur correspondant; l'armature établit un contact qui provoque une émission de courant dans le totalisateur et le fait avancer d'un cran et marquer une unité.

L'appareil construit fonctionne, à l'usine de la Villette, d'une façon assez satisfaisante, pour que la Compagnie du gaz en ait commandé un second pour l'une de ses autres usines secondaires.

Rapport de M. le colonel PIERRE, sur un appareil pour le raccommodage sur place des brancards de voitures cassés, par M. POIROT.

Congrès international des électriciens : discours de M. DUMAS, dans la séance plénière tenue le 5 octobre 1881.

Rapport sur les travaux pratiques du congrès international des électriciens, lu par M. Mascart, à la séance du 5 octobre 1881.

Modification de la lampe électrique par M. Jamin.

Industrie de la Magnésie, note de M. Th. Schloesing.

Notice sur l'association de Mulhouse, pour prévenir les accidents de machines.

OCTOBRE.

Rapport de M. CHATIN, sur un nouveau procédé de culture du chêne-liège, pratiqué par M. CAPGRAND-MOTHES.

M. Capgrand-Mothes, propriétaire de bois de chêne-liège, dans le Lot-et-Garonne, a communiqué à la Société d'encouragement un procédé de culture du chêne-liège, qui permet de récolter une écorce de première qualité, sans croûtes ni crevasses, et d'avancer d'un an la récolte, sur tous les arbres déjà demasclés. Le problème à résoudre était des plus intéressants, tant au point de vue agricole qu'au point de vue industriel. L'auteur, après avoir défini le rôle des parties de l'écorce dont l'arbre reste recouvert quand on a opéré le demasclage et reconnu ce fait, que la croûte et les crevasses ont pour commune origine le desséchement superficiel de l'enveloppe cellulaire, après le démasclage ou la tire, a été conduit à les éviter, en rétablissant les conditions primitives sous lesquelles l'arbre forme son liège. Il arrive au résultat, en donnant à l'arbre dénudé par l'écorçage, un revêtement protecteur contre l'action des agents extérieurs qui, sans lui, déterminerait la production de croûtes et crevasses. Une série d'expériences a fixé la nature, la durée et les soins pratiques que réclame le revêtement.

Conférence monétaire internationale. Séance du 4 juillet 1881. Discours de M. DUMAS.

Mémoire sur la fabrication d'un combustible économique, par M. Jacquelain.

M. Jacquelain s'est proposé de préparer, par voie de mélanges, un combustible imitant et même surpassant, par son mode de combustion, la tourbe

carbonisée, mais ne dégageant aucun gaz odorant ou infect, pendant les premiers instants de sa combustion.

Il a fait un très grand nombre d'expériences et s'est arrêté à des compositions différentes, suivant la destination du combustible, mais formées généralement de houille grasse pulvérisée et lavée, de coke, d'argile pulvérisée et d'eau.

M. Sudre, ancien élève de l'École centrale, a fait, sur la fabrication du combustible économique de M. Jacquelain, un rapport dont voici les éléments principaux :

Le four établi chez MM. Jaillon, Monier et Cie, à la Villette, peut produire 1,000 kilogrammes par jour.

On compte le poussier de houille à 20 francs la tonne, et le poussier de coke à 10 francs. On a négligé le prix de l'argile, prix balancé par le produit de certains déchets de fabrication. 100 kilogrammes de briquettes moulées ne donnant que 76 kilogrammes de produit carbonisé, il faut 1,320 kilogrammes du mélange pour faire 1000 kilogrammes de briquettes.

On peut établir le prix de revient comme suit :

Matières rendues à l'usine et broyées.	46 fr.	80
Moulage	27	50
Combustible	16	80
Emmagasinage	2	50
Total...	93	60

A quoi, il faut ajouter les frais généraux variables suivant l'importance de la fabrication.

Le prix de revient total variera par 100 kilogrammes de 10 fr. 25 à 16 fr. 90. On peut compter 15 francs, bénéfice compris, pour une production moyenne.

Ce combustible est, dans ces conditions, notablement plus économique que le charbon de bois de l'Yonne, le charbon de Paris et la tourbe carbonisée.

Exposition internationale d'électricité. Exposé sommaire des travaux du Jury, par M. Mascart.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

OCTOBRE 1881.

Rapport sur la **comparaison des deux types de voies à rail Vignole et à rail double champignon,** par M. Vicaire, ingénieur en chef des mines.

Ce rapport a déjà été donné, dans le quatrième numéro de 1881, des *Annales des Mines*, (voir le Bulletin de novembre de la Société des Ingénieurs civils, page 529.)

Passerelle provisoire roulante, sur l'écluse Duquesne, par M. Alexandre, ingénieur des ponts et chaussées.

Le pont tournant, établi sur l'écluse Duquesne, à Dieppe, ayant dû être reconstruit, par suite de vétusté, il a fallu établir une passerelle pour assurer les communications, pendant la durée des travaux. Ce passage qui réunit la ville au Pollet est très fréquenté, la circulation y est de plus de 15,000 personnes par jour.

La passerelle comprend une volée unique et roule sur des rails en fer; elle se compose de deux poutres américaines de 31^m,25 de longueur, dont 18^m,32 pour la volée, et 12^m,93 pour la culasse, de 1^m,60 de hauteur, écartées de 1^m,80 d'axe en axe.

Le plancher est formé de madriers, portant directement sur les moises inférieures des poutres longitudinales. La rigidité est assurée par des croix de Saint-André, placées sous le plancher, et par des écharpes en fer que l'on peut raidir au moyen de tendeurs à vis.

La passerelle repose sur deux essieux en fer de 0^m,12 de diamètre; les roues sont en fonte et portent chacune une denture qui sert à les faire mouvoir par l'intermédiaire d'une manivelle et d'un pignon. Des verins calent la passerelle au repos.

Le poids total du tablier et du mécanisme est de 25,500 kilogrammes, dont un lest en gueuses de fonte de 3,500 kilogrammes placé sous le plancher de la culasse.

Quatre hommes suffisent pour la manœuvre; la durée de l'opération est de 60 à 75 secondes, de sorte que, dès que l'officier de port dispose de 4 ou 5 minutes entre les passages de deux navires, il peut rétablir momentanément la circulation et donner ainsi satisfaction au public accumulé sur les deux rives.

Le prix d'établissement se décompose comme suit :

Charpente, 23 mètres cubes	3.300 fr.
Fers et fonte, 8,000 kilogrammes.	5.200
Peinture	400
Frais divers	1.100
Total :	10.000

Cette passerelle qui a fonctionné sans interruption, pendant un an, va être enlevée prochainement, le nouveau pont de l'écluse Duquesne venant d'être livré à la circulation.

NOVEMBRE 1881.

Notice sur **la vie et les travaux de M. Belgrand**, par M. L. LALANNE, inspecteur général des ponts et chaussées, en retraite.

Note sur le **renflouement du navire anglais *Brancepeth***, par M. CHATONEY, inspecteur général des ponts et chaussées.

Le vapeur en fer *Brancepeth* a coulé à l'entrée du port de Saint-Nazaire, le 24 février 1869, avec 900 tonneaux de charbon à bord. Sur le refus des armateurs, des assureurs et de la marine d'opérer le relèvement, l'administration des ponts et chaussées dut y procéder.

M. Chatoney, chargé de l'opération, établit le long de la jetée sud un ouvrage en charpente en saillie, et assez solide pour porter des appareils de traction. Douze chaînes, et à la fin quatorze de 42 millimètres, furent fixées au navire, et des vis de 100 millimètres furent posées sur la plate-forme de l'ouvrage en charpente. Chaque vis était tournée par dix ou douze hommes agissant à l'extrémité d'un levier de 3m,50, actionnant la vis par des linguets et une roue à rochet; la tension des chaînes était réglée par leur passage sur un flotteur de 5 mètres de diamètre et 14 de longueur, de manière que chacune eut à peu près le même effort à supporter. On commença par faire opérer au navire un avancement de 1m,50 et un déplacement de 8 degrés, mais, les appareils ayant été surmenés et faussés, il fallut les réparer. Le travail fut repris et le navire put être amené à 100 mètres plus loin, le long de la jetée sud, sur un terrain assez élevé pour que le pont découvrît à mer basse. On dut alors enlever la vase dont la coque et la cargaison étaient remplies, et on put faire flotter le navire et le conduire sur une plage de vase en dehors du chenal, le 31 maï 1870.

L'effort moyen exercé sur chaque chaîne a été de 30 tonnes, soit 420 pour 14 chaînes.

Le navire, lorsqu'il a flotté, déplaçait 1930 tonneaux, le poids à soulever était de 1350 tonnes; il y avait donc à vaincre une adhérence de 580 tonnes.

La dépense de halage a été, non compris les chaînes fournies par la marine, de 270,000 francs; le renflouement proprement dit a coûté 40,000 francs, ce qui fait une dépense de 310,000 francs ou, pour compter exactement, de 315,732 francs. Comme la vente de l'épave a produit 100,000 francs et celle des apparaux 28,173 fr. 36, il en résulte que la dépense restant à la charge de l'État, non compris les chaînes, a été de 187,558 fr. 64.

L'auteur ajoute qu'il est certain que, si l'opération était à recommencer aujourd'hui, avec l'expérience qu'on a acquise, la dépense serait beaucoup moins considérable et l'opération durerait beaucoup moins longtemps.

Note sur quelques **expériences relatives au dosage des mortiers et des bétons**, par M. de Preaudeau, ingénieur des ponts et chaussées.

Des expériences faites au canal de l'Est ont servi de base à des essais analogues faits par l'auteur sur les chantiers des écluses de Carrières-sous-Poissy et de Bougival; la conclusion des deux séries est que pour déterminer d'une manière rationnelle le dosage des mortiers, il n'est pas suffisant de raisonner par analogie, mais qu'il est généralement nécessaire de procéder à des essais directs.

Les essais ont porté sur le dosage des mortiers et des bétons, sur l'influence du mode de fabrication, la porosité, la résistance, la composition des laitances. On peut dire pour les mortiers que la résistance des mortiers de chaux du Teil n'atteint une valeur à peu près régulière qu'au bout de quinze jours de fabrication; avec de bons sables, la résistance doit être de 1 kilogramme à la traction et de 5 kilogrammes à la compression. Cette résistance augmente rapidement après quinze jours d'immersion.

Si on compare des mortiers dosés à 350 et à 300 kilogrammes de chaux avec sables fins, on trouve que la résistance des premiers est plus forte après quelques jours d'immersion, mais que leur durcissement est ensuite moins rapide; au bout de seize jours d'immersion, ils sont équivalents. Il n'y a donc pas d'intérêt, à moins de circonstances exceptionnelles qui exigent une prise très rapide, à forcer le dosage de la chaux.

La fabrication mécanique donne des mortiers plus résistants, par suite de la meilleure trituration. Les chaux un peu anciennes prennent moins vite, mais ont un durcissement plus régulier que les chaux trop fraîches.

Discours prononcé par M. Tarbé de Saint-Hardouin, inspecteur général des ponts et chaussées, à l'ouverture des cours de l'École des ponts et chaussées, le 3 novembre 1881.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

11e numéro de 1881.

Machine à air chaud de Rider, par M. Schöttler, professeur à l'École technique supérieure de Hanovre.

Sur l'alimentation continue et automatique des chaudières à vapeur, par le docteur R. Proell, de Dresde.

Hydromoteur pour machines à coudre, par M. C. Schaltenbrand, ingénieur à Berlin.

Exposition d'électricité de Paris.

Machine verticale pour essais à la traction de 25,000 kilogrammes de puissance.

Wagonnet à peser, de Garin.

Nouveau théodolite pour travaux de mines, de Otto Fennel, à Cassel.

Couteaux de suspension pour balances.

Appareil pour mesurer l'élasticité de torsion.

Mesureur de vitesse de Hearson.

Indicateur de niveau d'eau de Gerkinet-Ledent.

Indicateur de niveau d'eau électrique de Fein.

Mouvement différentiel de Caflisch.

Mesure du frottement des garnitures de presses hydrauliques, par M. G. Marié.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. Mallet.

TABLE DES MATIÈRES

Traitées dans la Chronique de 1881.

PARIS. — IMP. E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

SUPPLÉMENT
au mois de décembre 1881

N° 12

EXPOSITION DE L'ÉLECTRICITÉ

PARIS
SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ
10, CITÉ ROUGEMONT, 10

1881

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Résumé paraissant les premier et troisième vendredis de chaque mois.

SÉANCES - VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

PROCÈS-VERBAL DE LA 6e SÉANCE

tenue le Mardi, 18 Octobre 1881

au Siège de la Société.

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU

La séance est ouverte à 9 heures et demie du matin.

M. LE PRÉSIDENT expose que l'objet de cette séance est l'étude des applicateurs de l'électricité au service des chemins de fer et donne la parole à M. Lartigue qui s'est chargé de faire connaître l'état de la question en ce qui concerne les signaux.

M. LARTIGUE. Dans une des séances de la seconde Section du Congrès des électriciens, où il a été question des applications de l'électricité au service des chemins de fer, un Membre étranger a fait la proposition suivante :

« Le Congrès, en présence des perfectionnements apportés dans les appareils électriques et de la confiance qu'on peut leur accorder, émet le vœu que les gouvernements prennent les dispositions nécessaires pour en recommander l'application à l'exploitation des chemins de fer. »

Après une discussion où tout le monde à peu près était d'accord, il a été décidé que la Section prendrait une décision, qui était celle-ci :

« L'utilité qu'il y a à employer l'électricité; étant unanimement admises il n'est pas nécessaire de l'affirmer de nouveau. — D'un autre côté, pour les détails et l'application, cette question excédant absolument la compétence d'un Congrès d'électriciens, elle doit être réservée aux ingénieurs spéciaux. »

Ceci a été voté, je crois, à l'unanimité, et je pense que c'était la seule chose qu'on pût faire.

Dans cette décision, on admet que tout le monde reconnaît l'utilité de l'emploi de l'électricité dans l'exploitation des chemins de fer. Cela veut-il dire qu'on ne va plus rencontrer de difficultés, auprès des ingénieurs de chemins de fer, pour ces applications ? Pas du tout ! Il y a plusieurs motifs qui retardent ces applications.

La première cause, qui tend à disparaître tous les jours, est le peu de connaissance, le peu de notions que certains ingénieurs possèdent sur l'électricité. Vous savez, Messieurs, que ce n'est pas leur faute : les programmes des écoles comportaient très peu de chose, jusqu'à ces derniers temps, sur l'électricité.

Dès lors, certains de ces ingénieurs, s'exagérant le principe de leur responsabilité, ne voulaient pas même entendre parler de cet agent inconnu et n'admettaient rien en dehors des anciens procédés. D'autres, ayant, comme ils disaient, la sage défiance de ce qu'ils ignoraient, se trouvant en présence d'une chose nouvelle, qui n'avait pas encore fait ses preuves, ne la repoussaient pas absolument, mais se tenaient sur la réserve. J'espère que l'Exposition actuelle aura fait disparaître bien des préjugés.

La deuxième cause des difficultés qu'on rencontre, tient à un autre ordre d'idées tout à fait inadmissible. On dit : Si on perfectionne tellement les appareils, les agents en arriveront à ne plus faire attention. J'ai entendu des personnes très sérieuses tenir ce langage ; je ne l'ai jamais compris. C'est comme si un officier disait : Nous ne donnerons pas de fusils perfectionnés aux soldats, parce qu'ils n'auront plus de courage.

Il y a six semaines, je faisais une conférence à l'Exposition d'électricité, je citais, à ce propos, l'opinion du capitaine Tyler, inspecteur du Board of Trade, ingénieur très compétent, qui a été chargé, pendant plusieurs années, des enquêtes sur les principaux accidents et qui a présenté au Parlement un rapport sur les causes de ces accidents et sur les moyens de les prévenir, Eh bien ! dans la partie de ce rapport où il examine l'objection en question, il dit que si les mécaniciens sont disposés à marcher avec plus de confiance lorsqu'ils savent que les signaux sont plus parfaits ; si les agents de la voie, là, où est installé le block-système n'ont pas autant de hâte à se porter en arrière en cas d'arrêt des trains, ayant des raisons de penser que les signaux ont été déjà faits, cependant, il est prouvé par l'expérience la plus prolongée, que les agents qui sont privés de moyens perfectionnés, arrivent à travailler pour ainsi dire à la garde de Dieu et que ce sont eux qui montrent le plus d'insouciance.

Je ne veux pas vous faire de citation : je crois que je puis offrir à chacune des personnes qui sont ici ma conférence et leur en faire hommage ; elles y trouveront cette citation tout au long.

La troisième cause de difficulté, c'est la multiciplicité des inventions basées sur l'électricité présentées aux compagnies de chemins de fer, par des personnes souvent aussi étrangères aux questions électriques qu'aux détails de l'exportation. On prétend que les compagnies, quelquefois, écartent systématiquement toute invention nouvelle. Cette assertion n'est

certainement pas fondée, mais il semble véritablement que les inventeurs prennent à tâche de fournir des arguments pour qu'elles écartent les propositions de nouveaux appareils.

Vous savez qu'il y a certaines questions qui passionnent l'opinion, et les journaux, pas les journaux scientifiques, heureusement, les journaux à informations, surtout lorsqu'il est arrivé quelque accident sérieux, reproduisent et prônent des inventions, des projets plus ou moins absurdes qu'un certain public accueille avec enthousiasme : le frein instantané, par exemple, rien n'a eu plus de succès ; un frein qui arrête un train en 2 mètres, par les plus grandes vitesses! D'autres propositions sont plus raisonnables, mais ne sont pas plus réalisables dans la pratique. Il arrive alors souvent que les ingénieurs des compagnies mettent en bloc les bonnes et les mauvaises inventions, et rejettent les unes à cause des autres.

Il faudrait que les inventeurs s'attachassent à étudier sérieusement les problèmes à résoudre et à ne présenter que des appareils sérieux.

Il est pour cela des règles qu'il est facile de suivre ; elles ne s'appliquent pas plus aux signaux électriques qu'aux autres signaux de chemins de fer. Ces règles ont été posées, il y a plus de quarante ans, par un ingénieur anglais, Edwin Clarke, un des collaborateurs de Stephenson ; il a formulé quatre principes qui peuvent être considérés comme le code des signaux.

Voici la première règle : « *L'appareil des signaux doit être de la forme la plus simple et peu susceptible de dérangement.* » Ceci va de soi. Pour assurer la sécurité de la marche des trains, il faut, un appareil simple, sur lequel on puisse compter. Il ne s'agit pas que la construction soit simple ; si les pièces sont compliquées, cela importe peu, pourvu qu'elles soient faites dans des conditions qui ne présentent pas de dangers, de dérangement, et que la manœuvre soit simple et facile.

Deuxième règle : « *Les signaux doivent être simples, peu nombreux et assez clairs pour qu'une erreur ne puisse se produire.* »

Ceci encore est évident. Les signaux s'adressent surtout au mécanicien. Le mécanicien, dans ce moment-ci où l'on brûle, dans les machines avec des foyers spéciaux, à peu près toutes sortes de combustibles, est obligé à une surveillance beaucoup plus fréquente que si on employait seulement du gros charbon. De plus il a à s'assurer par lui-même de toutes les conditions de la marche ; si on lui donne des signaux qu'il soit obligé d'interpréter, il lui deviendra impossible de suffire à sa tâche. Les signaux doivent être simples, peu nombreux, clairs, et ne pas donner sujet à erreur. *Arrêtez*, *marchez*, *ralentissez ;* je ne crois pas qu'il y ait autre chose à dire au mécanicien.

Les signaux qui s'adressent aux hommes de la voie ne sauraient être plus compliqués, vu la nature du personnel.

La troisième règle est des plus importantes : « *La mémoire des agents ne*

doit pas être en jeu et les signaux, par conséquent, doivent être permanents et non temporaires. » — Il y a, vous le savez, des signaux qui ne sont que momentanés, des signaux acoustiques par exemple, qui sont confirmés par un signal optique permanent; ces signaux peuvent toujours être cause d'une erreur, attendu que si l'agent qui a reçu un signal et qui doit le répéter au mécanicien est obligé de s'en souvenir et surtout si on lui fait successivement plusieurs signaux, un jour ou l'autre il se trompera, ou s'il ne se trompe pas, il n'en sera pas moins dans un doute dangereux. Dans le doute, les agents ceux de la voie surtout, ne font pas de signaux d'arrêt.

L'agent qui doute de la valeur d'un signal devrait certainement l'interpréter dans le sens de l'arrêt. Mais il se trouve placé entre deux éventualités : Arrêter le train, et alors il est sûr d'être puni s'il l'a fait à tort : ou le laisse passer, et s'il arrive un accident, il a la ressource d'affirmer que l'appareil électrique n'a pas fonctionné.

Qui peut prouver le contraire, puisqu'il ne reste rien du signal ?

J'en appelle ici à tous ceux qui ont l'expérience des chemins de fer. Dans le doute, il est rare que l'on fasse un signal d'arrêt ou qu'un mécanicien s'arrête devant un signal équivoque. Il faut donc que le signal soit permanent, parce qu'il faut qu'à tous moments, l'homme à qui s'adresse le signal ou celui qui est chargé de le répéter ait sous les yeux le signal fait ou non fait.

Quatrième règle : « *Enfin, aucun accident ne doit pouvoir être causé par le dérangement de l'appareil ou l'absence du garde ; mais ces irrégularités ne doivent pouvoir causer qu'un retard au train.* » C'est en vertu de cette règle, que les disques à distance se mettent automatiquement à l'arrêt si le fil de traction se casse.

Cette quatrième règle est d'une application assez difficile et cependant elle est bien essentielle.

En ce qui concerne les appareils électriques, la conséquence qu'on doit en tirer, c'est qu'il ne faut pas se servir de l'électricité pour produire des signaux directs, car, vous le savez, en électricité il n'y a pas de petits dérangements, et l'interposition d'un grain de poussière entre des pièces en contact produit une interruption comme la rupture d'un fil.

L'électricité est excellente pour contrôler d'autres appareils, pour effacer des signaux mis à l'arrêt par d'autres moyens, pour dispenser de certaines manœuvres; mais il faut que, lorsque les appareils électriques ne fonctionnent pas, ou qu'on les a mal manœuvrés, il n'y ait pas d'autre inconvénient que d'obliger les agents à contrôler d'une autre façon, à employer d'autres procédés, mais sans que jamais l'absence d'un effet électrique puisse faire conclure à l'indication de *voie libre*. Les dérangements, les fautes doivent profiter à la sécurité aux dépens de la régularité [1].

1. On a souvent cité, j'ai cité moi-même, la sonnerie de contrôle des disques à distance, comme une des applications les plus judicieuses de l'électricité. Eh bien! cet appareil, dans

Ceci me conduit à parler des signaux automatiques. Et d'abord, doit-on employer les signaux automatiques? En général, non! Il vaudrait mieux ne pas les admettre, ou du moins, il serait prudent de ne se servir des appareils fondés sur l'automaticité, que comme supplément à d'autres appareils, ou de combiner leurs signaux avec d'autres signaux, de telle façon qu'il n'y ait pas d'inconvénients sérieux s'ils viennent à manquer. Prenons un exemple :

Il y a des passages à niveau très fréquentés, et d'où l'on ne peut apercevoir les trains de loin ; il est utile que les gardes de ces passages à niveau soient prévenus à temps de l'arrivée d'un train pour faire évacuer la voie, s'il y a lieu et fermer les barrières.

Là, on emploie des pédales automatiques. La première fois que j'ai été chargé d'étudier et d'installer une de ces pédales, j'ai été frappé des inconvénients qui peuvent se présenter. On peut établir une pédale dans les meilleures conditions possibles, mais on ne peut jamais affirmer que l'appareil ne se dérangera pas, ou ne sera pas brisé par les chocs qu'il subit.

Il me semble que le vrai moyen d'écarter toute cause d'accident serait de couvrir les passages à niveau dangereux par un signal avancé toujours à l'arrêt; la pédale étant placée assez loin pour que le mécanicien n'ait pas ce disque en vue lorsque le train la fait agir, si elle fonctionne bien, le garde aura le temps d'effacer le disque si rien ne s'y oppose, et la marche du train ne sera pas ralentie; si au contraire l'appareil électrique ne fonctionne pas, cela aura pour unique résultat de faire inutilement siffler aux freins et de ralentir le train pendant un instant.

L'automaticité séduit beaucoup les esprits; il semblerait qu'en confiant à un appareil le soin de faire les signaux en dehors de l'intervention humaine, on s'affranchirait de toutes les fautes que les hommes peuvent commettre; mais il y a souvent des incidents qu'on ne peut prévoir et où il est indispensable que l'agent prenne certaines mesures que les règlements indiquent d'une façon générale, et qui sont en dehors des fonctions des appareils purement mécaniques.

les conditions où il est généralement installé, peut, dans un cas, fournir une indication erronée et donner une fausse sécurité.

Sur tous les chemins de fer, sauf peut-être au Nord, la sonnerie et la pile sont placées, l'une à peu de distance de l'autre, du côté du garde qui manœuvre le disque. De là, part un fil qui aboutit au commutateur placé au disque, et est manœuvré par la révolution de ce dernier.

Il y a donc un fil très long (de 800 à 1500 mètres) qui doit être parfaitement isolé, sous peine de voir la sonnerie marcher même si le disque est effacé. Que le fil se casse et touche la terre, cet effet se produira.

A la suite d'un fait de ce genre, il a été décidé au chemin de fer du Nord, que toutes les piles des sonneries des disques seraient placées près de ces disques; leurs deux pôles sont reliés l'un à la sonnerie qui communique directement avec la terre, l'autre au commutateur par un fil dont la longueur n'excède pas quelques mètres, et qui est établi dans de bonnes conditions d'isolement et de solidité. La rupture du long fil ne peut produire que le non-fonctionnement du système.

Cette observation a pour but de montrer quelle prudence et quel soin on doit apporter dans l'étude des appareils destinés à assurer la sécurité.

On peut établir qu'un signal doit être fait de telle et telle façon; mais il peut se présenter des circonstances qui forcent à le modifier.

Je pense donc que les appareils automatiques sont des choses qu'il ne faudrait pas trop répandre, et surtout, qu'il ne faut pas baser sur leur emploi exclusif le système de sécurité d'une exploitation; il vaut mieux toujours se servir de l'intervention humaine, de façon à pouvoir parer aux éventualités. Ce qu'il faut faire, c'est réduire l'intervention humaine à peu de chose et s'arranger de façon que l'agent ne puisse se tromper.

Perfectionner les appareils, les enclancher les uns par les autres pour forcer les agents à faire les mouvements dans l'ordre voulu, empêcher les erreurs et les effets de distraction, en un mot obvier le plus possible à la faillibilité humaine; voilà le rôle de ceux qui s'occupent des moyens d'empêcher les accidents, et c'est dans cet ordre d'idées que l'électricité peut leur être d'un précieux secours.

Je ne parle ici que d'une manière générale; car il ne peut entrer dans ma pensée de décrire les systèmes électriques proposés pour être employés dans l'exploitation des chemins de fer.

Je crois qu'il est d'usage après une conférence comme celle-ci, que les personnes que cela peut intéresser se rendent à l'Exposition pour voir les appareils. Aujourd'hui, je me suis arrangé de façon que si quelques-uns d'entre vous veulent bien se rendre au palais de l'Industrie, les appareils leur seront démontrés par les exposants eux-mêmes. La critique de ces appareils ressortira de l'exposé des quatre règles de Clarke que je viens de vous énoncer; il vous suffira de voir s'ils sont dans les conditions requises par ces règles pour les apprécier et savoir s'il sont bons ou insuffisants.

Il est encore des appareils dont il est question très souvent : ce sont ceux qui sont destinés à établir la communication des trains en marche entre eux et avec les stations. Vous savez, Messieurs, tous les ingénieurs de chemins de fer savent, le nombre considérable de systèmes proposés, depuis celui de Bonelli, qui date de 1854, et même auparavant. Lorsque j'étais au Nord, on m'envoyait souvent à examiner les inventions électriques qui étaient présentées, j'ai eu des rapports à faire sur 125 ou 126 systèmes d'appareils pour faire communiquer les trains en marche entre eux ou avec les stations.

On a trouvé, dans ma conférence, que j'avais été trop absolu en appréciant le principe de ces systèmes; je vous en fais juge. Je disais que, selon moi, la solution vraie de cette question n'était pas trouvée. Je considère comme une chimère l'idée de faire communiquer d'une façon permanente un train à mouvements très rapides, avec un autre train, et même avec une station.

J'ai entendu plusieurs fois, et peut-être vous aussi, M. Boistel, lorsqu'il exposait les difficultés qu'il avait éprouvées pour installer, du palais de l'Industrie à la place de la Concorde, le petit tramway électrique de MM. Siemens. M. Boistel a essayé d'abord des frotteurs pour établir la

communication entre la machine fixe qui produit le courant et la machine portée par la voiture que ces courants actionnent; mais cela n'allait pas. On a été amené à mettre parallèlement à cette petite voie pour servir de conducteurs, deux tubes séparés sur des poteaux, et à faire circuler dans chacun de ces tubes un petit charriot.

Le système fonctionne, mais vous savez que la ligne est excessivement courte, elle n'a que 498 mètres de longueur, qu'elle est sous la surveillance constante des agents, qu'il n'y a d'ailleurs qu'une seule voiture qui circule.

Mais, pour des trains marchant à une vitesse de 25 à 30 mètres par seconde, et qui parcourent des centaines de kilomètres, comment organiser une communication permanente ? Nous avons, sur le Nord, établi des appareils électro-automoteurs pour déclancher sur la machine à l'approche des disques à l'arrêt, soit la soupape d'un sifflet, soit la valve du frein continu. Vous le verrez à l'Exposition. Là, il s'agit d'établir un contact d'un centième de seconde; c'est suffisant pour faire fonctionner l'appareil. On a mis sur la voie une pièce mécanique de deux mètres de long, et on a installé sous la locomotive une brosse très solide. Eh bien ! Messieurs, je croyais certainement que j'aurais eu un contact qui aurait duré tout le temps du passage de la brosse sur le contact fixe. Pas du tout ! Dans les trains express, lorsque le train arrive, la brosse touche le contact fixe sur un espace de 10 centimètres, ressaute à 90 centimètres plus loin et touche encore pendant 10 centimètres, et cependant, l'appareil a été calculé de manière que dans les plus hautes oscillations de la machine il y ait deux centimètres d'appui. Pour moi, le contact permanent est impossible; on ne pourra pas établir de communication permanente d'une façon absolue, tant qu'on n'aura pas trouvé autre chose que la friction d'un métal sur un autre métal pour créer un contact.

En outre de ces difficultés, si l'on met des appareils sur les trains pour la communication et les échanges de dépêches, il y a encore d'autres inconvénients; par suite de la trépidation, les appareils se détraquent facilement; les pièces, quelque robuste qu'on les fasse, ne tiennent pas longtemps; les pivots s'usent très vite.

Il y a aussi à considérer la question de dépenses. J'ai eu à examiner un appareil étudié avec le plus grand soin, j'ai fait le devis de son installation, et je suis arrivé à trouver que la dépense s'élèverait pour une ligne à double voie, à 40,000 fr. par kilomètre; on a jeté les hauts cris, et cependant, je suis sûr que je suis bien au-dessous de la vérité. Demandez à M. Boistel ce que lui a coûté l'établissement de son contact. Pour les pièces de contact fixe que nous mettons sur la voie, la dépense atteint 35 à 40 fr. par mètre; en supposant qu'on arrive à réduire ce prix à 15 fr., pour deux voies cela fait 30 fr. Ensuite si l'on se sert du système comme moyen de protection des trains en marche, les sections de conducteur devront chevaucher les unes sur les autres ; en mettant 10 fr. de ce chef pour chaque mètre de voie, on arrive à 40 fr. Je crois donc que,

pour établir un contact permanent dans les conditions voulues pour qu'il ne fût pas impossible qu'il ne marchât, en mettant 20 fr. pour chaque voie, je suis au-dessous de la vérité. 40 fr. par mètre, cela donne 40,000 fr. par kilomètre, et 40,000,000 de fr. pour 1000 kilomètres. C'est une dépense considérable qui dépasserait certainement les résultats qu'on obtiendrait.

Est-ce qu'on irait faire des signaux au mécanicien et lui transmettre des dépêches pendant qu'il est en marche? Quand il reçoit un signal d'arrêt, il faut qu'il s'arrête tout de suite et qu'il fasse cette opération d'instinct. Il a bien autre chose à faire que de recevoir les dépêches qu'on lui transmettrait directement ou par l'intermédiaire du conducteur. — Comment ce dernier les transmettrait-il? Avec la cloche? Qu'est-ce que cela signifierait? Le mécanicien sera à se demander ce qu'on lui veut. Il faut que le mécanicien voie lui-même les signaux, et qu'il ne perde pas son temps à demander des explications.

Quant à échanger des dépêches pour le service des voyageurs, pourquoi faire? pour les renseigner sur la position d'un train? En cas de marche régulière, c'est inutile; en cas d'accident, cela pourrait servir; mais alors bien souvent les appareils auraient été mis hors d'état de fonctionner. D'ailleurs des postes télégraphiques ou téléphoniques échelonnés le long de la voie seront dans ce cas bien plus avantageux et coûteront moins cher. On vous montrera, à l'Exposition, des appareils par lesquels on serait renseigné sur la position exacte des trains. On ne voit pas la nécessité d'un appareil indiquant à quelques mètres près cette position.

J'ai consulté des hommes compétents sur cette question, des ingénieurs d'exploitation, et je leur ai dit : Franchement, en supposant que l'appareil fonctionne bien sûrement, quel intérêt y a-t-il à pouvoir communiquer avec un train en marche? — Ils m'ont répondu que l'intérêt est très secondaire.

Je crois qu'il sera bon néanmoins de jeter un coup d'œil sur les appareils de ce genre; ils ne sont point mauvais au point de vue de l'idée; quelques-uns sont très ingénieusement combinés, mais, comme application, ce n'est pas dans ce sens-là qu'il faudrait, selon moi, diriger ses études.

M. le Président remercie M. Lartigue de sa communication qui a posé avec compétence les bases générales des mesures à prendre pour assurer la sécurité sur les chemins de fer, et donne la parole à M. Napoli pour une communication sur l'application de l'électricité aux freins et aux études sur la résistance et la vitesse des trains.

M. Napoli. Messieurs, en commençant cette communication, je vois dans la salle M. Achard lui-même ; je dois dire que c'est lui le premier qui ait appliqué l'électricité dans les trains de chemins de fer. Je ne connais pas d'ingénieur, avant lui, qui ait fait cette application, et ceux qui l'ont

suivi dans cette voie se sont servis des principes de M. Achard : l'embrayage, c'est-à-dire, qu'on se sert de l'électricité pour produire un rapprochement métallique sur l'essieu, comme moyen d'embrayage.

M. Achard a eu raison d'adopter ce principe, parce que, pour obtenir une force notable d'un appareil électrique, il faut employer des machines de grandes dimensions. Je n'ai pas besoin d'insister sur ce point, que vous connaissez tous; dans le cas où il y aurait quelqu'un qui ne connaîtrait pas ce système, je vais dessiner au tableau le dernier dispositif adopté par M. Achard, qui a donné, à la Compagnie de l'Est, des résultats remarquables. Latéralement à l'essieu d'une des roues du châssis, M. Achard suspend un électro-aimant circulaire, de forme cylindrique. Les extrémités du fil de cuivre constituant l'électro-aimant communiquant avec deux viroles métalliques isolées, destinées à amener le courant, aux deux extrémités de l'électro-aimant. Les fonds de cylindre s'aimantent, lors du passage du courant : l'un pôle sud, l'autre pôle nord, c'est-à-dire que le pôle nord épouse toute la partie droite et le pôle sud toute la partie gauche. La bobine est suspendue au châssis à l'aide de deux flasques mobiles; lorsqu'on fait passer un courant, les deux extrémités s'aimantant, déterminent un véritable engrenage à friction. Une chaîne qui peut s'enrouler, autour de l'axe de l'aimant, transmet au moyen d'une poulie, un mouvement ascensionnel au levier qui agit sur les sabots. Si on tire à l'aide de cette chaîne ce levier, il appuiera les sabots sur les roues et serrera le frein. Quand on veut le desserrer on rompt le circuit électrique, un ressort de rappel écarte l'électo-aimant pendulaire, et le poids des organes tire de nouveau sur cette chaîne, et le desserrage a lieu.

Vous voyez que c'est simple. Il arrive que, dans cet électro-aimant, le courant détermine un pôle unique à chaque extrémité, épanoui sur toute la circonférence, mais au moment où le courant circule, il est attiré par l'essieu qui, formant armature, concentre l'aimantation au point de contact et produit une forte adhérence capable de former engrenage à friction.

Tel est l'organe principal du frein. M. Achard, dans ces derniers temps, notamment au Nord, avait employé la pile secondaire de M. Planté. Cette pile, vous la connaissez : c'est un vase en verre, dans lequel il y a des lames de plomb plongées dans l'acide sulfurique étendu. Lorsqu'on fait passer un courant, il se forme du peroxyde de plomb qui peut donner lieu à un courant à un moment donné. Les piles secondaires peuvent emmagasiner une certaine quantité d'électricité. Pendant que le mécanicien ne se sert pas du frein, un petit nombre de piles Daniell chargent les piles secondaires. On utilise ainsi le moment où le courant n'est pas employé, pour emmagasiner l'électricité. Seulement, il fallait un appareil à chaque wagon, ou faire un wagon spécial contenant un très grand nombre de piles. M. Achard le fait encore. Mais. à la Compagnie de l'Est, M. Regray, qui s'est occupé du frein électrique, a pensé, qu'une machine électrique

remplacerait avantageusement les piles secondaires, qui ont un inconvénient : elles se déchargent complètement au bout de trois fois, et il faut dix minutes pour qu'elles soient assez chargées pour commencer un nouveau serrage. Ensuite, il y a des bornes qui peuvent se desserrer et compromettre ainsi l'existence du courant au moment où on en a besoin.

L'expérience est faite, et la solution a été obtenue complètement par M. Regray; c'est par une machine Gramme, dite machine d'atelier, placée sur le tender, mue par une machine à trois cylindres Brotherwood. Quand le mécanicien veut serrer le frein, il envoie de la vapeur dans la machine Brotherwood, qui fait tourner la machine électrique et produit ainsi le serrage. Si, dans une pile électrique la force motrice dépend du nombre d'éléments et de la réaction chimique, il n'en est pas de même dans une machine électrique. Cette dernière a une force électro-motrice qui dépend de la vitesse qu'on lui imprime ; c'est pour cela que les machines électriques sont propres au serrage des freins, à cause de leur simplicité : il n'y a pas de chance de desserrage des bornes, il n'y a plus un grand nombre de piles placées dans un wagon.

M. Regray avait essayé de se passer de machine à vapeur, et de faire fonctionner la machine Gramme par les roues du wagon lui-même. Pendant quelque temps, on avait adopté cette idée; en effet, quand la vitesse est très grande, il faut un grand effort pour arrêter le train, et quand la vitesse diminue, l'effort diminue, si l'on fait fonctionner la machine Gramme par les roues du wagon, il est évident que sa force augmentera ou diminuera proportionnellement à la vitesse du train. Les premiers essais ont été satisfaisants, mais on marchait à une grande vitesse, et dans ce cas-là, on pouvait se passer de machine à vapeur. Cependant, il arrivait parfois que, quand la vitesse était trop faible, la machine ne donnait rien ; elle ne s'amorçait même pas. Il faut une certaine vitesse pour que le courant prenne naissance ; à la vitesse du pas, la machine n'était pas amorcée. Cette opinion a prévalu, M. Regray s'y est rendu en mettant une machine Brotherwood et une machine électrique. Les résultats sont excellents. La machine Brotherwood est toujours en pression. Quand on a une machine très froide, si on envoie brusquement de la vapeur, il faut du temps pour mettre en route à cause de la condensation inévitable de la vapeur que l'on envoie dans une enceinte froide. On empêche la machine Brotherwood de tourner à l'aide d'un petit frein ; il n'y a pas à craindre de condensation. Les résultats sont très satisfaisants ; nous avons aujourd'hui des arrêts variant de 150 à 250 mètres, avec des vitesses de 60 à 100 kilomètres à l'heure.

Le frein électrique, quant à moi, est supérieur aux freins à vide et Westinghouse. Il est instantané, de sorte qu'au moment où le mécanicien met en mouvement la machine Gramme, tous les wagons sont actionnés en même temps : il en résulte que le train ne se comprime pas ; il reste avec sa longueur réelle ; il n'y a aucune réaction dans les ressorts au des-

serrage, ce qui n'a pas lieu avec le frein à vide, ni avec le frein à air comprimé, attendu que le vide se fait avec une vitesse de quelques fractions de seconde, ce qui établit une différence de 2 à 3 mètres de la tête à la queue du train, et détermine une compression. De là, au desserrage, des mouvements en avant et en arrière, si désagréables aux voyageurs. La machine électrique est préférable à l'emploi du vide ou de l'air comprimé.

Cette idée n'a pas prévalu, il faut croire, puisque, à l'Est, on nous a imposé le frein à air comprimé, de même que dans les autres compagnies. M. Regray n'abandonne pas pour cela l'idée du frein électrique, sans compter que c'est une invention éminemment française, qu'il conviendrait de ne pas laisser tomber.

Voilà, Messieurs, ce que j'avais à vous dire sur le frein électrique; je crois que ce n'est pas la peine que j'insiste davantage; c'est plutôt M. Achard, à qui revient l'honneur de l'invention, qui aurait dû vous en entretenir.

M. Achard. Je remercie M. Napoli des explications très claires qu'il vient de vous donner. Il comprend très bien le frein électrique, puisqu'il l'a étudié lui-même avec le plus grand soin.

Je ferai une observation, à propos de la pile de M. Planté. J'ai eu tort de ne pas communiquer à M. Napoli le commencement des essais faits à l'Est. La pile Planté n'a pas été employée comme elle devait l'être. Nous avions deux freins sur un train, et on n'avait pas fait attention que la résistance de l'électro-aimant devait être en rapport avec la résistance des piles Planté. Depuis, j'ai fait marcher la pile Planté deux heures entières, trois heures, sans l'épuiser.

Voici comment je suis arrivé à ce résultat. J'ai mesuré la résistance de la pile Planté, et puis, j'ai mesuré un électro-aimant, de manière à ce qu'il ait une résistance en proportion avec le nombre de freins. Dans un train où il y a douze freins électriques, il faut que la résistance de chaque électro-aimant soit douze fois la résistance de la pile.

Lorsque j'avais fait ce changement, je crois avoir dit à M. Napoli qu'au lieu de fil de 2 millimètres, il fallait employer du fil de 1 millim. 1/2. — Vous verrez à l'Exposition des freins montés de cette manière-là. On peut s'arrêter à une station dix fois, vingt fois, sans épuiser la pile.

La règle que j'ai trouvée, parce que j'en avais besoin, se rapproche beaucoup de la théorie. Voici ce qui arrive : lorsque j'ai douze freins, douze électro-aimants, qui ont douze fois la résistance de la pile et qui sont tous sur le frein, comme cela arrive par dérivation, vous voyez tout de suite que l'ensemble des freins électriques ont la même résistance que les piles Planté, et sont dans les conditions théoriques de l'arrêt, de manière à utiliser le mieux cette source électrique. Si je supprime moitié des freins dans le train, la résistance va être doublée; le générateur, ou la pile Planté produit moitié moins, par conséquent, j'ai encore la même

électricité dans les six éléments qui restent. Ce fait a permis de donner aux piles électriques une durée plus considérable. Leur résistance est quatre fois plus considérable qu'auparavant.

J'aurais dû donner ces renseignements-là, au moment où nous avons fait des expériences, à l'Est : mais vous le savez, on ne voit pas tout, et j'ai été amené à cette découverte par le besoin d'équilibrer l'électricité tout le long du train.

Je crois que cette règle s'applique non seulement aux freins électriques, mais à tous les appareils électriques : la force du générateur varie suivant la résistance qui lui est opposée. Ainsi, nous avons essayé la force de la dernière voiture du train et celle de la première, nous n'avons pas trouvé une différence de 25 kilogrammes sur 500.

M. Napoli. Nous avons trouvé la même chose avec la machine électrique. Les piles Planté peuvent certainement remplacer les machines électriques ; mais je trouve la machine électrique beaucoup plus simple, et elle présente moins de chances de dérangement que la pile Planté.

M. Achard. J'en conviens ; mais je dois rendre justice à M. Planté ; il a fait un appareil qui peut s'appliquer aux trains.

L'entretien des piles n'est pas ce qu'on croit généralement ; quand on en a l'habitude, cela se reduit à peu de choses. Je puis dire qu'un seul élément de pile Planté suffit au moins pour deux voitures, de manière à produire un effort au contact de 100 à 150 kilogrammes, qui se traduisent ici, par la transmission, en 500 kilogrammes.

Je remercie M. Napoli des explications qu'il a bien voulu donner ; il a été très clair et très net. Au chemin de fer de l'Est, en allant sur Strasbourg, dans des essais que nous avons faits, nous avons arrêté en six secondes ; maintenant, nous embrayons en 2 " 6. — Tout le monde sait que M. Combes, directeur de l'École des Mines, a fait un voyage avec nous ; il a été tellement satisfait qu'il m'a accordé le prix Montyon de 2.500 fr. à ce sujet.

M. Achard. Nous avons mis une machine à vapeur qui fait tourner les roues sur place, et on peut se rendre ainsi compte de toutes les opérations de serrage et de desserrage.

M. le Président compte sur la bonne volonté de M. Achard pour donner aux visiteurs les explications nécessaires.

M. le Président. M. Napoli veut-il nous donner une description sommaire du wagon dynamomètre de la Compagnie de l'Est qui figure à l'Exposition ?

M. Napoli. Dans le wagon dynamomètre il y a deux sortes d'appareils ; l'un sert à mesurer le travail développé à la barre d'attelage ; l'autre, très important, dû à l'idée théorique de M. Marcel Deprez sert à mesurer le travail développé dans l'intérieur des cylindres. Ainsi, le wagon dynamomètre sert à mesurer deux choses ; le travail dépensé, et le travail produit.

La première partie de l'appareil, celle qui sert à mesurer le travail développé sur la barre d'attelage, se compose, comme celui de M. le général Morin, d'une série de lames de ressort accouplées par leurs extrémités. La partie centrale est en communication avec le crochet d'attelage. Les extrémités de ce ressort sont assujetties aux traverses du wagon ; en tirant sur la barre d'attelage, on fait fléchir le ressort. C'est cette flexion qu'il s'agit de transmettre à la partie enregistrante du wagon. Les lames de ressort sont attachées à une plaque centrale ; pour communiquer le mouvement de la flexion du ressort à la partie enregistrante, il y a un levier vertical qui monte ou descend, et est mis en communication avec le ressort par une bielle qui vient prendre la partie médiane des ressorts. Cette bielle avance ou recule dans un sens ou dans l'autre, et décrit un arc à l'intérieur du wagon. Cette pièce débouche sur une table à l'intérieur du wagon, où il y a une seconde bielle communiquant avec le crayon qui trace les traits sur une bande de papier. On comprend que, si la bande de papier marche horizontalement, et si le crayon marche perpendiculairement à cette bande, on a une courbe dont l'aire, donnera le travail développé sur la barre d'attelage.

A ce système il y a un avantage, c'est que le papier est mis en mouvement par la roue du wagon elle-même, qui entraîne un arbre vertical lequel donne le mouvement au papier et aux autres appareils. Si l'on s'était servi de mouvement d'horlogerie, comme M. le général Morin l'avait fait, il aurait fallu faire des rectifications et tenir compte de la vitesse et du parcours des trains ; tandis qu'ici, le papier marchant proportionnellement au train, l'aire de la courbe tracée sur le papier donne exactement le travail développé sur la barre d'attelage sans anamorphose. On emploie de plus des appareils totaliseurs, avec lesquels le travail est évalué en kilogrammètres. M. le général Morin avait déjà employé ce système. Si pendant que le crayon se déplace une molette roule sur un cône ou un plateau, le nombre de tours de molette peut donner le travail évalué en kilogrammètres.

Voici comment j'ai opéré. Supposez un plateau qui tourne avec une vitesse très grande, toujours proportionnelle à la vitesse du train ; et une petite molette dont l'axe est dans la direction du crayon lui-même. Pendant que le plateau tourne, si l'on veut avoir des traits sur le papier, il faut appuyer sur la molette avec une certaine force. Supposez une petite molette de fauteuil, par exemple, il va sans dire que si vous vous déplacez avec l'axe de la molette, il vous faut très peu d'efforts pour en faire dévier la marche ; mais par le fait que vous vous êtes déplacé, la molette se trouve ramenée à la normale grâce à une composante latérale. On a attaché la molette au portecrayon lui-même, de sorte qu'il n'y a pas d'effort à faire ; il suffit de compter le nombre de tours de cette molette.

On ne fait pas toujours la quadrature de la courbe ; on regarde le compteur, et à chaque arrêt, on a le travail évalué en kilogrammètres par

une simple lecture. En vérifiant, on a trouvé des résultats identiques à ceux obtenus par la quadrature de la courbe. Il y a, en dehors de cela, un mouvement d'horlogerie, qui porte un crayon; toutes les dix secondes, ce portecrayon se déplace d'une petite quantité qui est toujours la même.

Si le papier marche, d'autre part, il se produit une courbe à échelons proportionnels à la vitesse du train. Le crayon traverse le papier pendant une demi-heure, et le retraverse pendant une autre, c'est la longueur des échelons qui donne la vitesse du train.

Il y a, enfin, un compteur kilométrique; au moyen de poteaux nous avons étalonné la voie, et nous avons compté le nombre de tours de roues nécessaires pour faire un kilomètre ; à chaque kilomètre le compteur perce le papier et donne ainsi, avec le nombre de kilomètres parcourus, la vitesse exacte du train.

Voilà pour la première partie, c'est-à-dire celle qui est destinée à mesurer le travail développé sur la barre d'attelage. La seconde partie, dont je vais vous dire quelques mots, est celle qui est destinée à mesurer le travail développé dans les cylindres de la machine.

Pour obtenir le diagramme de la pression de la vapeur du cylindre, il suffit d'avoir un papier qui se meut comme le piston lui-même, et un crayon qui se meut comme la pression : on a ainsi un diagramme semblable à ceux obtenus par l'indicateur de Watt.

La première partie du problème a été résolue à l'aide de la méthode de M. Deprez : On donne à deux cadres, qui peuvent être placés l'un au-dessous de l'autre, un mouvement de va-et-vient analogue à ceux des pistons. Pour cela on a mis, derrière chaque cadre, une bielle et une manivelle ; les deux bielles communiquent avec les deux manivelles. Elles sont fixées sur deux roues d'engrenage qui peuvent communiquer entre elles. Ces roues sont de même diamètre, et les manivelles sont calées dans l'espace à 90°. C'est comme si ces deux manivelles étaient sur le même arbre, puisque dans l'espace, elles marcheront toujours parallèlement à elles-mêmes. Cette disposition était nécessaire pour avoir les deux cadres l'un au-dessus de l'autre, et pour faire coïncider l'origine de la course des cadres avec celle de la course des pistons. Le mouvement pris sur la roue du wagon, étant proportionnel à celui de la roue de la machine, si nous supposons la roue du wagon de 1 mètre de diamètre et la roue de la locomotive de 2 mètres, il suffit de marcher deux fois plus vite, pour avoir une vitesse égale, on met des engrenages intermédiaires, de façon à donner aux deux cadres une vitesse d'abord approximativement égale, et comme il faut une vitesse absolument semblable entre le mouvement de ces cadres et celui des pistons : pour donner l'appoint nécessaire, il y a un train différentiel qui remplit cette fonction. Ce train est formé par trois roues, dont l'une est mise en mouvement par la roue du wagon, qui fait tourner cette partie du train différentiel, et transmet son mouvement à une seconde roue fixée sur une roue satellite. Mais l'autre élément diffé-

rentiel dépend d'un galet, rapproché plus ou moins du centre d'un plateau tournant proportionnellement à la roue du wagon; et comme on peut faire varier la vitesse du troisième intermédiaire, de même qu'il suffit de laisser le galet dans la même position, pour que la vitesse ne varie pas. On corrige la vitesse en éloignant ou en rapprochant le galet du centre du plateau de correction. Comment peut-on savoir s'il faut augmenter ou diminuer la vitesse? Au moyen du plateau qui transmet le mouvement aux cadres. Il faut qu'il y ait synchronisme sur cette roue. Pour le reconnaître M. Deprez avait conseillé d'employer l'étincelle d'induction; mais on n'obtenait pas de résultat satisfaisant; on avait une grande quantité d'étincelles, et il n'était pas facile de reconnaître quelle était la bonne.

J'ai tourné la difficulté en employant un autre moyen optique. Il faut une lampe à pétrole à réflecteur qui envoie ses rayons parallèles dans une petite lentille. Au foyer de cette lentille, les rayons continus convergent, s'écartent et arrivent dans l'axe de la roue qui porte la bielle et la manivelle qui fait marcher le cadre. Il y a une lentille, au bout, la lumière devient parallèle, chemine dans l'intérieur de cet axe et arrive sur un prisme à réflexion totale. Les rayons reviennent, et par un second prisme à réflexion totale se trouvent portés à la circonférence; si la roue tourne, on a un cylindre lumineux. Mais, au foyer de la lentille, se trouve un petit électro-aimant qui porte comme annexe un petit volet en aluminium. Ce petit volet empêche la lumière de pénétrer; s'il est soulevé la lumière apparaît. Supposons que, pendant que le train marche, on ait placé, à l'extrémité de la course du piston, un contact électrique, chaque fois que le piston touchera ce contact, le volet s'ouvrira. Il est ouvert et fermé en un millième de seconde (j'insiste la-dessus, parce que c'est un chiffre officiel). Supposez que la roue tourne, l'observateur voit, dans l'espace, une petite image lumineuse; s'il y a synchronisme entre le mouvement des roues et le mouvement des cadres, à chaque tour, on verra toujours l'image fixe dans l'espace; s'il y a décalage, on corrige l'excès ou le défaut en déplaçant le galet du train différentiel. Si l'étincelle est fixe dans l'espace, on l'y laisse; s'il y a défaut ou excès, on corrige par le galet.

Quand on a une machine toujours la même, et qu'on a établi le synchronisme, il persiste tout le temps du voyage, et même lendemain. Voilà donc le moyen d'obtenir et de constater le synchronisme. Maintenant si nous avons adopté trois roues de même diamètre pour actionner les cadres, c'est parce que, comme il importe que l'origine de la course du piston de la locomotive coïncide avec l'origine du mouvement des cadres, on n'est pas sûr que les deux cadres marchent de la même façon que les roues de la locomotive; il faut absolument que dans l'espace, il y ait coïncidence. Lorsque l'étincelle paraît, il faut que le cadre se trouve à l'extrémité du piston. Supposons que l'étincelle doive se trouver à la ver-

ticale, et qu'elle ne s'y trouve pas : avec cette partie centrale, on la ramène à l'endroit voulu pour que l'orientation soit convenable.

Dans la seconde partie, nous avons ce qui concerne la pression. Si l'on était sur la locomotive, un indicateur Watt suffirait; mais dans le wagon en envoyant de la vapeur il y aurait eu condensation. M. Marcel Deprez a pensé à l'air comprimé; il a placé sur le fond de chaque cylindre des explorateurs, c'est-à-dire des membranes différentielles. C'est une membrane mise en mouvement par la vapeur du cylindre d'un côté et de l'autre ; par l'air comprimé qu'on lui envoie du wagon, cette membrane est sollicitée également à droite ou a gauche ; en se déplaçant un peu son centre ferme un contact électrique. Je dis membrane, mais nous l'avons remplacée par un piston très léger. Tout mouvement de ce piston est transmis à l'aide d'un contact électrique dans le wagon, où il a un réservoir d'air comprimé à dix atmosphères. Cette air appuie sur une des faces du petit piston. M. Marcel Deprez disait : si dans le wagon on laisse tomber cette pression jusqu'à zéro, on aura une décroissance continue de la pression. A un moment donc, si on laisse couler l'air tout doucement, le piston descendant progressivement, on aurait eu une décroissance continue. Dans ce cas là en mettant un enregistreur électrique, il se serait déplacé progressivement suivant la pression ; s'il se trouvait justement en regard du cadre, on aurait eu une courbe, car pendant que le crayon descend jusqu'à zéro, toutes les fois que le piston aurait fait un petit mouvement, il y aurait eu un petit point, et l'ensemble de ces points auraient donné la courbe. Mais on n'a pas obtenu de résultat, à cause de la masse des pièces; la descente ne se faisait pas régulièrement, et il n'y avait pas moyen d'obtenir un diagramme. J'ai employé à la place un régulateur de pression, c'est-à-dire un appareil qui ne laisse passer que de l'air à la pression que l'on veut. La vis qui règle la sortie de l'air porte deux enregistreurs électriques Deprez fixés sur elle et en regard des cadres décrits précédemment. De cette façon les enregistreurs en montant ou en descendant à l'aide de la vis du régulateur parcourent des ordonnées proportionnelles à la pression de l'air que l'on envoie sur les explorateurs situés sur les cylindres de la locomotive. Je ne le décrirai pas. Je suppose que je m'arrête à une atmosphère de pression, mon crayon descend à une atmosphère. Au moment de la détente, quand le piston a fait un chemin convenable, il arrivera un moment où il sera à zéro dans l'explorateur du cylindre, et la membrane reviendra au zéro, et marquera un point qui sera un point de la courbe. Je vais à 2 kilos avec le régulateur de pression; si je m'arrête, j'aurai à nouveau un signal qui cette fois se fera au moment où la pression avait 2 kilos; j'aurai un second point, et en répétant la même opération, j'aurai ainsi une série de points dont l'ensemble donne la courbe. Cet enregistreur est mû par l'explorateur de gauche et de droite du piston de droite. Dans le cadre inférieur, il y a deux autres explorateurs qui donnent deux autres diagrammes, de façon qu'on explore successivement les quatre faces des deux pistons. On ne

peut avoir la courbe en une fois, on l'obtient par une suite de coups de piston. Est-ce bien la moyenne de la pression ? Si les coups de piston ne se ressemblent pas, il n'y a pas besoin de l'appareil Watt; s'ils se ressemblent, autant avoir la moyenne. Dans les deux cas, nous avons constaté que deux coups se ressemblaient. Il est à remarquer que la distribution n'est pas la même au repos qu'en marche : on voit des différences dans les diagrammes qui tiennent au changement de distribution dû à la flexion des pièces lorsque la locomotive marche. Voilà ce que je voulais vous dire; si vous désirez voir ces appareils, je suis tous les soirs à l'Exposition.

M. le Président remercie M. Napoli de son exposé. Le wagon qu'il a décrit et que nous visiterons à l'Exposition n'est pas resté à l'état théorique; M. Regray a publié un grand nombre des expériences qu'il a faites avec les appareils décrits et ce recueil sera consulté avec intérêt.

La séance est levée à onze heures et demie.

Notes sur la 6e Visite.

ALLEMAGNE.

MM. Siemens et Halsk de Berlin, avaient exposé différents appareils employés pour l'exploitation des chemins allemands et dont nous indiquerons les principaux :

1° Sonneries allemandes pour signaux.

Les différents postes sont successivement prévenus des faits qui se passent sur la voie, et à leur tour ils peuvent transmettre les indications nouvelles : retard, accident, etc., relatives à la section ou une sonnerie est placée. — En dehors des signaux transmis automatiquement de poste en poste ; on peut en envoyer d'un point quelconque en agissant directement sur l'appareil.

2° Signaux de block-système, pour un ensemble de trois lignes dont une de correspondance.

Les enclanchements, soit des signaux, soit des aiguilles, se font à l'aide de verrous circulaires ; un courant envoyé du poste même du chef de gare permet seulement de les manœuvrer.

Dans la disposition d'ensemble présentée par ces messieurs, on remarque que l'on n'a point groupé ensemble toutes les aiguilles ; on les a rendues indépendantes, ou pour mieux dire on les a isolées les unes des autres.

M. Konigt, d'Alsace-Lorraine. — Un appareil d'enclanchement.

AMÉRIQUE.

Appareils Sykes. — Les appareils de ce système sont destinés à assurer le block-système absolu, sur une ligne déterminée divisée en sections ; c'est par une combinaison d'enclanchements mécaniques et électriques que ce résultat est obtenu. Les manœuvres ne peuvent se faire à un poste, tant qu'un train en marche n'a point franchi le poste suivant.

ANGLETERRE.

Appareils Saxby et Farmer, pour l'enclanchement des signaux ou des

aiguilles. — Deux manœuvres opposées, pouvant produire un accident ne peuvent être faites simultanément par un agent qui, dans un poste intermédiaire, ne peut agir qu'après en avoir reçu pour ainsi dire le moyen du poste suivant au moyen d'un courant électrique.

Appareil Spagnoletti, pour produire à distance le déclanchement d'une aiguille, au moyen d'un courant électrique.

AUTRICHE.

La Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État exposait les appareils suivants :

1° Appareil d'enclanchement des barrières mobiles pivotantes. Une sonnerie électrique prévient à l'avance que la manœuvre va se faire ; un trembleur indique au poste de départ, si cette manœuvre s'est bien effectuée.

2° Disque électrique à déclanchement.

3° Appareil pour assurer la communication entre les voitures d'un train.

4° Appareil à voyant indiquant dans les voitures le nom de la station où l'on arrive.

5° Cloche Léopolder ; transmission des signaux de poste en poste, par un certain nombre de coups. (Employée sur les lignes de la Compagnie française Paris-Lyon-Méditerranée.)

ITALIE.

Appareil de block-système automatique, système Ceradini ; on a utilisé le principe de l'invention de MM. Lartigue et Forest, dans leur sifflet automoteur avec déclanchement des freins, pour agir sur la locomotive même, au passage de chaque poste.

FRANCE.

Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée. — 1° Appareil Tyer avec indicateur Jousselin. Des aiguilles se mouvant sur un cadran indiquent au garde le sens de la marche des trains ; une position annonce que les trains occupent la voie et la position inverse que la voie est libre.

L'avertisseur Jousselin, employé dans le block-système du réseau comporte douze indications diverses, permettant de faire connaître de poste en poste les incidents ou accidents de l'exploitation.

La solidarité des appareils Tyer et des sémaphores peut être également obtenue.

Actuellement il y a 513 postes Tyer en service, répartis sur 1870 kilomètres de lignes.

2° Appareils Saxby et Farmer pour aiguilles, disques, sémaphores d'une bifurcation ou d'un passage important d'une gare. (Plan de la gare de la Guillotière et dessin représentant le poste le plus important de cette gare.)

3° Appareils à cloche Léopolder. Les signaux électriques transmis, donnent onze indications de service différentes. (Sur le réseau, il y a 1384 de ces appareils, sur 1178 kilomètres de lignes.)

4° Appareils de communication électrique dans les trains, système Prud'homme.

5° Appareils avertisseurs électriques Jousselin pour passages à niveau; ils reposent comme les appareils Tyer sur l'emploi de courants d'inversion.

6° Sonnerie de disque, indiquant à un agent qui manœuvre un disque invisible ou très éloigné, que le mouvement s'est bien effectué.

7° Répétiteurs électriques de disque. Un voyant de couleur placé devant un guichet répète, au lieu d'une sonnerie, le signal exécuté dans un poste Saxby.

8° Photoscope, qui permet d'être prévenu de l'extinction du feu d'un disque. — Une spirale (acier et cuivre) est soumise à l'action de la flamme; lorsque la lampe marche bien, le contact avec un circuit électrique est assuré et il y a sonnerie. Dans le cas d'extinction la sonnerie s'arrête.

Compagnie du Nord. — 1° Appareil de correspondance à guichet pour poste Saxby.

2° Pédale électrique pour croisement de voie à contact de mercure.

3° Contrôleur du mouvement des aiguilles à distance, à contact de mercure.

4° Sifflet électro-automoteur, avec déclanchement des freins. (Voir *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, n° de juillet-août 1879.)

5° Contrôle électrique du fonctionnement des appareils de déclanchement Saxby et Farmer.

6° Appareils à sonneries.

Compagnie d'Orléans. — 1° Electro-sémaphores, système Tesse, Lartigue et Prud'homme. (Voir *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, n° de juillet-août 1879.)

2° Appareils à sonneries.

COMPAGNIE DE L'OUEST. — 1° Appareils de protection des voies entre deux postes, l'exploitation se faisant en admettant que les signaux doivent être normalement ouverts. Système Regnault, même principe que dans l'appareil Tyer ; seulement la position de l'aiguille indicatrice est fixée par le passage d'un courant permanent et ne peut être modifiée par l'agent qui a expédié le train.

2° Système Regnault, à enclanchement pour poste tête de ligne.

M. MORS. 1° Électro-sémaphore, système Tesse, Lartigue et Prud'homme. (Voir *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, n° de juillet-août 1879.)

2° Appareil pour voie unique, assurant la protection en arrière avec signaux fermés.

FREIN ÉLECTRIQUE DE M. ACHARD. (Voir *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, n° de juillet 1880, page 45.)

MM. LEBLANC ET LOISEAU. 1° Protecteur de passage à niveau. — Sonnerie électrique et voyant, actionnés au moyen de pédales automatiques agissant sur un circuit électrique.

Appareil de block-système. Sonnerie électrique, voyant et compteur, actionnés comme dans le cas précédent et transmettant tous les signaux et indications de service.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

SÉANCES-VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

PROCÈS-VERBAL DE LA 7e SÉANCE-VISITE

tenue le Vendredi 21 Octobre 1881

au Siège de la Société.

PRÉSIDENCE DE M. ERNEST MARCHÉ, *vice-président*.

La séance est ouverte à neuf heures et demie du matin.

M. LE PRÉSIDENT. Messieurs, notre séance de ce jour sera consacrée à l'examen d'une question qui intéresse au plus haut degré tous les ingénieurs, celle du transport et de la distribution de la force motrice par l'électricité. Elle comprend trois sujets distincts : la transformation de l'électricité en travail à l'aide des moteurs électriques, le transport de l'électricité de la machine dynamo ou magnéto-électrique à la machine réceptrice et la distribution de l'électricité.

Dans une précédente séance, M. Frank Géraldy nous a décrit avec beaucoup de clarté les machines destinées à produire le courant électrique et je lui donne la parole pour nous exposer aujourd'hui les principes admis pour le transport, la distribution et l'utilisation de l'électricité ainsi produite.

M. FRANK GÉRALDY. Messieurs, je ne comptais pas avoir l'honneur de prendre la parole pour traiter ce sujet dans toute l'étendue que vient de lui donner M. le Président ; je pensais seulement avoir à déblayer un

peu le terrain pour la communication de M. Deprez, au sujet de la force motrice et de la distribution de l'électricité.

Je passerai sur la question du transport de la force par l'électricité : cette question est connue de vous ; elle a été attaquée et discutée dans ces derniers temps, et M. Deprez pourra vous donner, sur ce sujet, des détails très intéressants.

Il y a cependant un point de cette question sur lequel nous insisterons un peu, parce qu'il semble qu'il ait donné lieu à des difficultés qu'il ne paraît pas devoir soulever : c'est la question du rendement dans le transport de la force par l'électricité. Ceux d'entre vous qui ont assisté aux réunions du Congrès des électriciens, savent quelles difficultés cette question a fait naître ; il y a eu beaucoup de discussions à ce sujet, et je crois qu'on ne s'est pas encore très clairement exprimé. Je pense qu'il serait utile de revenir sur ce point. Pour moi, la question me paraît claire ; ce sera, si vous voulez bien, l'affaire de cinq minutes, pas plus.

Le point, le voici : Si nous supposons deux machines auxquelles on demande le transport de la force par l'électricité ; la première est mise en mouvement par un moteur qui produit la force électro-motrice ; la seconde est mise en mouvement par le courant électrique qu'elle reçoit de la première, et produit un travail quelconque, du travail utile. Si nous laissons complètement libre la seconde machine, sans lui demander de travail utile, elle ira marchant de plus en plus vite jusqu'à ce que sa vitesse soit égale à celle de la première machine, au moins théoriquement. Les deux forces électro-motrices étant alors égales et contraires, il n'y a pas de courant dans le circuit, et par conséquent, pas de travail produit.

D'autre part, si vous arrêtez la seconde machine en opposant un obstacle qu'elle ne puisse pas vaincre, il n'y aura pas non plus de travail, mais il y aura des courants énergiques. Si vous opposez à la seconde machine un obstacle qu'elle puisse vaincre, il y a un moment où le travail produit par cette machine atteint son maximum, c'est le moment où la seconde machine a une vitesse égale à la moitié de celle de la première : dans ce cas, le rendement est de 50 pour 100. C'est le travail maximum qu'on puisse obtenir dans un temps donné ; on obtient dans ce cas un rendement de 50 pour 100.

Ce chiffre, qui ne répond qu'à un travail maximum dans un temps donné, a été souvent adopté comme chiffre réel et théorique du rendement, dans le transport de la force par l'électricité. On disait : on perd moitié, théoriquement, en transportant la force par l'électricité. C'est inexact. Ce n'est que dans un cas spécial que le rendement est de 50 pour 100 ; si vous voulez avoir un travail maximum, dans un temps donné, vous l'aurez en perdant moitié ; mais, si vous ne voulez pas atteindre le maximum, vous ne perdrez pas moitié de la force transmise.

Pour plus de clarté, fixons les idées par quelques nombres. Supposons que la machine mise en mouvement par le moteur, la machine génératrice absorbe 20 chevaux ; si nous poussons l'autre machine jusqu'à ce qu'elle

nous rende 10 chevaux, c'est un rendement de 50 pour 100, et nous perdons moitié ; mais la seconde machine nous donne le travail maximum qu'elle peut produire. Si nous ne demandons à la seconde machine qu'un travail de 8 chevaux, il n'est pas certain que nous serons obligés de dépenser 16 chevaux sur la première machine, peut-être que 15 chevaux ou 15 chevaux 1/2 suffiront. Si nous ne demandons que 5 chevaux, nous pourrons peut-être y arriver avec 8 chevaux dépensés sur la première machine ; si nous ne demandons que 3 chevaux, nous ne dépenserons peut-être que 5 chevaux dans la première machine. En un mot, si la quantité du travail récupéré diminue dans la seconde machine, les rendements augmenteront, et, dans les petits efforts, nous pouvons récupérer, par exemple, 75 pour 100 du travail dépensé.

Deux ou trois formules nous éclaireront sur ce sujet. Rappelons ici les lois de Ohm et de Joule.

Ohm dit que l'intensité d'un courant dépend de la force électro-motrice du générateur et de la résistance opposée à ce courant. Ce qui permet d'écrire :

$$E = \frac{I}{R}.$$

Joule dit que lorsqu'un générateur électrique travaille, la quantité totale de chaleur qui peut se produire est égale à la résistance multipliée par l'intensité. Donc, le travail total, égal à la chaleur totale, est représenté par la formule : RI^2 qui, d'après la loi précédente, peut aussi s'écrire EI.

Supposons deux machines : la première distribuant l'électricité, et la seconde, produisant le travail utile. Quel courant se produira ?

L'intensité du courant ne sera pas en raison de la force électro-motrice de la première machine, ni de la seconde, mais en raison de la différence de force électro-motrice des deux machines :

$$E - e,$$

E correspondant à la première machine, et e à la seconde. L'intensité du courant sera donc :

$$I = \frac{E - e}{R}.$$

Le travail de la première machine est : EI ; quel est le travail de la seconde ? Vous le savez, c'est : eI.

Le travail que peut produire la seconde machine étant représenté par eI, tandis que celui de la première machine est représenté par EI, le rendement ou rapport de ces travaux sera $\frac{e\,I}{EI}$ formule dans laquelle I disparaît. Donc la quantité absolue de travail produit dépend de la différence des forces électro-motrices ; le rapport du travail produit au travail dépensé ou rendement dépend du rapport des forces électro-motrices. Or,

ce rapport n'est pas du tout déterminé; nous pouvons très bien, pour un travail fixé, choisir ce rapport comme nous voulons; par conséquent, le rendement n'est pas déterminé à l'avance, et la proportion n'est pas imposée, elle dépend de nous et de la façon dont nous choisirons nos machines. Pour obtenir un bon rendement, il faudra une machine à force électro-motrice élevée; il y aura donc intérêt, pour le transport de la force par l'électricité, à prendre des machines de force électro-motrice élevée, et ici, le rendement dépend de vous, jusqu'aux limites pratiques des choses, naturellement : il n'est pas déterminé à l'avance.

Les premiers essais du transport de la force par l'électricité remontent loin, mais, à ce temps-là, c'était plutôt la création de la force mécanique que son transport qu'on cherchait. On produisait l'électricité à l'aide de la pile, et puis, on employait le courant de cette pile à faire tourner une machine motrice.

Les premiers essais, au moins les plus célèbres, remontent jusqu'à Jacobi, se promenant sur la Néva avec son petit bateau, en 1839 ou 1840. Il y a déjà là l'idée du bateau électrique de M. Trouvé, comme vous voyez. Puis, la question s'endort, parce qu'on s'est engagé dans une voie qui n'est pas bonne au point de vue de la construction des moteurs. On voulait faire tourner par l'électricité, une roue portant des armatures devant des séries d'électro-aimants.

Vous vous rappelez les moteurs de Froment, portant une roue à palettes de fer, devant laquelle est un bâti portant des électro-aimants. On s'arrange, à l'aide d'un commutateur placé sur la roue, de façon à ce que le courant passe toujours devant l'électro-aimant qui va venir en prise. Une fois que la palette est placée devant lui, le courant passe dans l'électro-aimant suivant, de façon à avoir une série successive d'aimantations, de désaimantations et une série d'attractions. Or, il y avait chaque fois une grande masse de fer à aimanter et à désaimanter successivement; par ce moyen, on perdait beaucoup de force électrique. D'ailleurs, le déplacement produit sur l'armature était beaucoup trop grand, et on n'a pas pu réaliser de travaux mécaniques sérieux par ce procédé. Il y a quelque vingt ans, on disait que l'électricité, employée comme moteur, ne produisait que de très petites forces; on hésitait à lui demander des travaux de quelque importance, pensant que c'était impossible. Ce n'était pas le résultat qui était impossible, c'est le procédé employé qui était mauvais.

Nous savons maintenant qu'une des plus anciennes machines électro-motrices qui ait été faite, c'est la machine de M. Pacinotti. Cette machine est restée inconnue pendant plusieurs années, et M. Gramme a inventé la même machine, plusieurs années après, sans savoir qu'elle existait. Si on avait connu la machine Pacinotti, à son début, on aurait eu la machine Gramme quinze ans plus tôt. Dès lors, l'idée est venue très vite d'appliquer le courant à ces machines-là, et de les faire tourner par le courant, au

lieu de leur faire engendrer le courant. L'idée de la machine réversible vient tout de suite. On a beaucoup discuté la question de savoir qui a eu la première idée d'employer ainsi ces machines. M. Werner Siemens m'a affirmé qu'il avait proposé ce système en 1866 ou 1867. Quoi qu'il en soit, ce qu'on peut dire, c'est que la première expérience de ce genre, bien constatée, est celle que M. Fontaine a faite, en 1873, à l'Exposition de Vienne : il a fait marcher à distance une pompe à l'aide de deux machines de Gramme. C'est le premier exemple réel du transport de la force par l'électricité. Depuis, l'idée a été mise en pratique, et toutes les machines ont pu donner le même résultat. Plus la machine est continue dans la production de courants, plus elle est avantageuse comme moteur. Il faut, pour qu'une machine soit bien construite, que les aimantations et les désaimantations qui se produisent soient aussi faibles que possible; il faut que la machine tourne dans un champ magnétique constant, le plus possible. C'est pour cela que la machine Gramme et la machine Siemens sont de bonnes machines motrices. C'est dans les mouvements électriques qu'est l'inconvénient, parce qu'il se produit toujours des pertes en chaleur.

Il y a lieu de penser que la machine Brush serait un moteur médiocre et marcherait même d'une façon assez inégale, à cause de l'enroulement de ses bobines. Cela n'a pas d'importance, quand il ne s'agit que de produire la lumière, mais l'inconvénient serait probablement assez grave si l'on employait ces machines comme transporteurs de force.

Les meilleures machines sont les machines à courants continus du type de M. Gramme et de M. Siemens. Ce sont les grands engins actuels, et c'est sans doute pour longtemps.

On a déjà étudié des types de machines destinées spécialement à ce genre de transport : je n'insiste pas sur ce point, puisque M. Chrétien doit en parler. Ce que je sais de mon côté, c'est que M. Deprez fait, dans ce moment-ci, des machines à transporter des forces considérables à de grandes distances, en employant des fils de petite dimension. La question est là, en effet : augmenter les forces électro-motrices, de façon à produire de grandes différences de potentiels. Nous travaillons actuellement à trop basse tension.

Dans les premières applications qu'on a faites de ces machines, on n'employait pas l'électricité à haute tension. Il me souvient que quelques-uns de ceux qui ont des premiers cherché à réaliser la lumière électrique, avaient une très grande terreur de l'électricité à haute tension; ils ont cherché à la réduire le plus possible. C'est un grand défaut : il en résulte, il est vrai, une grande sécurité, mais aussi un faible rendement. Il ne faut pas craindre d'employer l'électricité à haute tension, il faudra s'engager dans cette voie, et on s'y engage, on y marche même à très grands pas.

La question du transport étant ainsi un peu éclaircie, je passe à celle de la distribution.

La distribution de la force par l'électricité présente des difficultés spéciales qui résultent surtout de la répartition des divers courants électriques entre les divers engins qui sont destinés à les dépenser sous forme d'un travail quelconque. Supposons que nous ayons un générateur électrique, sur la nature duquel je ne préjuge rien. Sur ce générateur électrique est placé un circuit dans lequel il y a une machine opérant une dépense d'électricité telle que vous voudrez. Nous voulons adjoindre une deuxième machine de dépense; nous pouvons, c'est la première idée qui se présente, placer cette seconde machine sur le même circuit que la première. Mais la difficulté apparaît immédiatement. L'intensité du courant dépendait de la force électro-motrice et de la résistance; en posant cette seconde machine dans le même circuit que la première, nous avons augmenté la résistance totale du circuit; la force électro-motrice étant toujours la même, nous avons donc diminué le courant qui venait à la première machine, sans rien créer pour la seconde; il faut absolument que nous fassions produire au générateur une force électro-motrice pour compenser l'addition de cette seconde machine.

Mais il y a un autre moyen; nous ne sommes pas forcés d'en passer par là : nous pouvons donner à la seconde machine un circuit à elle, au lieu de la placer dans le même circuit que la première machine; de cette façon, nous avons diminué la résistance totale du circuit et augmenté la production électrique, mais pas assez cependant; pour que cette seconde machine fût semblable à la première, il aurait fallu doubler la force électro-motrice. Nous avons bien diminué de moitié la résistance extérieure, mais nous n'avons pas diminué la résistance intérieure, qui est toujours la même : le courant est obligé de la traverser pour se fermer. Il y a là une résistance intérieure à laquelle nous ne pouvons commander, et le dédoublement du circuit extérieur ne suffit pas. Il faut augmenter la force électro-motrice du générateur, de façon que chaque machine soit dans les conditions où elle doit être; seulement nous avons moins à faire que si nous mettions les deux machines en série : dans le premier cas, elles se gênent; dans le second, elles commencent à s'aider.

Remarquez que je ne fais aucune hypothèse sur la nature du générateur, c'est ce qu'on voudra : toute machine, tout débitant d'électricité qui aura une résistance intérieure exigera un réglage. Or, en somme, il n'y a aucune espèce de producteur ni d'accumulateur d'électricité sans résistance; d'où on peut conclure que les accumulateurs d'électricité exigent un réglage, par conséquent, ils ne peuvent pas suffire à desservir une distribution par eux-mêmes et à eux seuls, ils ne peuvent en être que l'auxiliaire. Supposons qu'on ait à faire une distribution dans divers lieux où l'électricité doit être dépensée, fera-t-on transporter les accumulateurs eux-mêmes? Nous savons ce qu'ils pèsent. En admettant que les accumulateurs les plus perfectionnés, ceux de Faure, par exemple, en admettant qu'ils donnent, pour un poids de 75 kilogrammes, un cheval-vapeur par heure; supposez que vous en ayez besoin pendant dix heures, il vous

faudra donc 750 kilogrammes de piles que vous serez obligés d'apporter le matin et de remporter le soir. C'est une manipulation qui n'est pas économique du tout, ni industrielle, cela saute aux yeux, et, du reste, il n'en est plus question maintenant.

Les accumulateurs pourront être de puissants auxiliaires : c'est leur rôle. Sir William Thomson a indiqué leur place en les assimilant à une citerne d'eau; on pourra en accumuler ainsi lentement une certaine quantité qu'on sera libre d'utiliser ensuite dans un temps très court.

En se tenant dans ces proportions, la solution du problème est facilitée, mais il reste toujours à résoudre la question de distribution. Il faudra toujours arriver à une canalisation, à faire une répartition sur cette canalisation. Comment faire pour que des circuits soient tous dans une entière indépendance les uns des autres? L'intensité du courant qui passe dans un circuit dépend de sa résistance propre et de la différence de potentiel électrique qui existe entre ses deux extrémités, absolument comme un débit d'eau dépend du diamètre des tuyaux et de la différence de charge qui existe aux extrémités du tuyau. Il faudra donc, pour qu'un circuit soit libre, que, entre les deux points qui formeront ses extrémités, la différence de potentiel soit constante. C'est là le point nécessaire. Ce qui fait que nos circuits sont desservis d'une façon variable, c'est que lorsque nous y ajoutons d'autres circuits, la différence de potentiel se réduit ou augmente suivant ce que nous ajoutons.

Pour arriver à ce résultat, on a proposé plusieurs solutions; il y a eu, dans ces derniers temps, un certain nombre de solutions complètes et théoriques, mais, précédemment, on avait fait un grand nombre d'essais. La question était urgente, elle s'imposait surtout pour le cas particulier de la lumière électrique, il fallait arriver à établir une sorte de distribution, tant bien que mal, plus facile, il est vrai, qu'une distribution générale, mais enfin, on était amené forcément à tâtonner, à faire une sorte d'essai de distribution. Il y en a plusieurs à l'Exposition; mais nous allons voir en quoi ces solutions ne sont pas complètes; elles ne répondent pas aux trois conditions indispensables de la distribution.

La première de ces conditions est celle-ci : il faut que toutes les machines placées sur les circuits soient complètement indépendantes les unes des autres. C'est ce que nous disions tout à l'heure.

La seconde condition, c'est que ceci doit se produire d'une façon automatique, car les mouvements électriques sont très rapides, et ce n'est pas avec une clef qu'on peut les régler.

Troisième condition : Il faut que la machine qui produit l'électricité ne donne que ce qu'on lui demande; car il n'y a pas de distribution industrielle si vous demandez toujours à votre machine tout ce qu'elle peut donner. Il faut ne demander que ce dont on a besoin, et ne pas toujours lui demander son maximum, pour gaspiller ensuite l'excédent non utilisé.

Les premières solutions ne répondent pas à ces trois conditions d'une bonne distribution. Parmi les essais de ce genre qui sont à l'Exposition, il y a d'abord le procédé de M. Gravier. Il s'est tenu à une bonne combinaison d'appareils; s'efforçant seulement sans chercher à résoudre la question de se placer dans des conditions favorables. Il a disposé plusieurs machines en quantité, et puis il a placé sur ces machines des circuits qu'il rend égaux, autant que possible, de sorte que s'il supprime un ou deux de ces circuits, comme les autres restent égaux, ils sont desservis également ; puis, comme sa machine a très peu de résistance, la variation électrique n'est pas énorme, et l'ensemble fonctionne bien. Mais ce système n'est pas une solution et il ne pourrait fonctionner en grand. Je sais que M. Gravier a pris des brevets pour un système plus complet comprenant des appareils régulateurs, mais ils sont postérieurs à ce que nous avons dit tout à l'heure.

Vous verrez à l'entrée de l'Exposition une petite distribution à trois machines Gramme ; c'est l'exposition de MM. Geneste et Herscher. Là, on a réglé la vitesse au moyen d'un régulateur à boules, qui porte un petit levier trempant dans du mercure. Si vous coupez les deux machines, le régulateur à boule soulève la petite tige qui trempe dans le mercure : c'est un moyen comme un autre de dépenser le courant. On le dépense en étincelles, dans ce cas-là, entre le mercure et la petite tige, car en retirant un ou deux appareils, celui qui resterait risquerait de marcher à une différente. C'est peu économique et peu pratique, car un système de ce genre serait brûlé par des courants de grande puissance.

Il y a ensuite les solutions de M. Brush et de M. Maxim.

La solution de M. Brush consiste en ceci : sur le circuit général, à l'endroit où il arrive sur les électro-aimants de sa machine, il place un circuit dérivé, et sur ce circuit dérivé, des résistances variables à la main ou automatiquement. Si elles sont variables à la main, c'est au moyen d'un cadran ; si elles sont variables d'une façon automatique, alors il emploie un électro-aimant dans lequel passe un circuit ; l'armature de l'électro-aimant appuie sur une série de petites plaques de charbon : plus ces plaques sont serrées, moins il y a de résistance, plus elles sont laches, plus il y a de résistance. C'est un régulateur grossier et très peu proportionnel. Il est bien vrai que la résistance de l'aimant est proportionnelle à la différence de potentiel, mais la pression exercée sur l'armature n'est pas du tout proportionnelle à cette même différence. L'appareil est donc très peu précis ; je ne crois pas qu'il ait jamais fonctionné. Quant à l'introduction des résistances à la main cela peut marcher, mais à la condition de perdre la moitié du courant. C'est une mauvaise solution.

M. Maxim présente un régulateur d'une forme assez ingénieuse. Sur sa machine, il place un électro-aimant qui est parcouru par le courant. L'armature de l'électro-aimant peut se mouvoir sur un axe, et porte, suspendu à l'aide d'un parallélogramme, une sorte de levier,

qui est continuellement animé d'un mouvement de va-et-vient ; ce levier porte deux cames, et au droit de ces cames sont placées deux roues dentées l'une au-dessus, l'autre au-dessous. Vous voyez ce qui va arriver : si l'armature de l'électro-aimant est dans une situation normale, le petit levier suspendu ne touchera ni l'une ni l'autre des deux roues. Si le ressort devient trop faible, le levier va toucher la roue d'en haut, et si le courant devient trop fort il viendra toucher la roue d'en bas ; et par conséquent, suivant que l'armature occupera l'une ou l'autre des positions extrêmes, l'une ou l'autre des roues dentées entrera en mouvement. Ces roues sont reliées par des engrenages à un collier portant les balais collecteurs de la machine. On sait que l'intensité du courant recueilli dépend de la position de ces balais. A l'aide de ces roues dentées, M. Maxim fait tourner ses balais de façon à recueillir le courant en un point où il soit moins fort. C'est une solution défectueuse, car il faut pour que le régulateur agisse, que la machine puisse augmenter ou diminuer le courant qu'elle produit suivant les cas ; il arrivera donc, que pendant la marche normale, les balais ne seront pas dans une bonne position pour recueillir le courant, et lorsque le système d'ensemble marchera bien, la machine génératrice marchera mal. Les balais seront facilement détruits. Cet appareil ne marche pas à l'Exposition ; on m'a assuré qu'il a marché, mais qu'il agit lentement.

Ajoutons que, comme l'appareil de M. Brush, il n'est pas strictement proportionnel.

La solution de M. Lane Fox est à peu près semblable ; c'est toujours un mouvement alternatif qui actionne des pieds de biche agissant sur les courants du circuit. Vient ensuite l'appareil de M. Edison, c'est un des plus intéressants. Il a introduit l'excitation séparée ; au lieu d'exciter sa machine par le courant général, il l'excite par une machine séparée ou par une dérivation prise sur le courant principal. Donc, dans ces machines, il y a deux séries de fils, l'une qui va aux lampes qu'il s'agit d'allumer, et l'autre qui aboutit à l'électro-aimant. L'idée de ce genre de montage a été depuis longtemps proposée par Wheatstone. Sur ce circuit dérivé, il place un mode de régulation de manière à avoir des résistances variables qu'on peut introduire suivant le besoin. Sur le grand courant, il met un appareil dynamomètre. Lorsque cet appareil agit, il prévient qu'il faut introduire une résistance. Il y a là une bonne idée, c'est d'avoir séparé l'excitation du circuit principal, et réduit la résistance de la machine. Ce procédé rend le réglage plus facile ; mais cette solution n'est pas du tout automatique : elle repose sur la vigilance de l'employé. L'employé suivra les indications qu'il a sous les yeux, mais il n'agira pas toujours ni très promptement, ni très convenablement. Quand même il le voudrait il ne le pourrait pas, parce que les mouvements électriques sont trop rapides ; il ne pourrait pas retirer et introduire la résistance suivant tous les mouvements. J'ai vu cet appareil en fonction ; l'employé me paraissait s'aider, dans son fonctionnement, d'un téléphone dont il

recevait les indications plutôt que de l'éléctro-dynamomètre. Maintenant l'électro-dynamomètre a été retiré, mais il y a encore le téléphone, et c'est lui qui sert à régler la résistance. Vous voyez que l'appareil est peu précis et pas du tout automatique.

Puisque nous sommes sur ce point, je rectifierai des bruits qui courent ou qu'on fait courir à ce sujet. On assure que cette disposition existe en grand, et qu'à New-York, il y a 1100 maisons éclairées par la lumière Edison. Dans ce nombre les trois derniers chiffres sont de trop : ce n'est pas 1100 maisons, c'est une maison qui est éclairée à New-Yorck par ce système : c'est le bureau même de M. Edison. Qu'il y ait des projets, cela se peut, mais il n'y a encore rien en fonction.

Venons maintenant aux solutions complètes qui répondent aux trois conditions que j'ai posées tout à l'heure.

La première est celle de M. Hospitalier, qui a été breveté vers le milieu de l'année dernière. Nous avons toujours à maintenir la différence de notre potentiel ; pour cela il nous faut surveiller et régler ce potentiel. M. Hospitalier fait l'excitation par une machine séparée, puis il prend sur le circuit principal un circuit dérivé sur lequel il place un galvanomètre d'une nature quelconque, ce sera le galvanomètre de M. Deprez si vous voulez, que les Anglais appellent *dead-beat*, c'est-à-dire, appareils qui n'ont pas d'oscillations. Au point où doit rester l'aiguille pour que le potentiel aux bornes ait la valeur désirée, nous placerons deux buttoirs métalliques où nous amenons deux courants ; les deux autres fils aboutissent à l'aiguille elle-même, de sorte que si elle touche à droite, elle enverra le courant dans ce sens, et si elle touche à gauche elle enverra un courant dans l'autre sens. Ces courants vont dans un petit moteur spécial. Ce moteur, ce sera si vous voulez une petite machine de Gramme, ou un petit moteur du système Deprez. Ce petit moteur est chargé d'introduire ou de retirer des résistances sur le circuit spécial qui produit les excitations de l'électro-aimant. Lorsque le courant général devient trop fort, le galvanomètre est dévié, son aiguille va toucher un buttoir ; le petit moteur entre en action, introduit des résistances, le courant excitateur s'affaiblit et est ramené à de justes limites. Dans l'autre cas, l'aiguille touche l'autre buttoir, et le moteur retire des résistances au lieu d'en ajouter. L'appareil ne sera au repos que lorsque la différence entre les potentiels aura atteint la valeur nécessaire.

Voilà une véritable solution ; elle répond aux trois conditions que j'ai énoncées mais elle n'a pas été expérimentée. Elle a été très complètement étudiée. M. Hospitalier avait préparé l'ensemble et les détails d'une installation générale, afin que la solution fût complète et que les distributions pussent venir en aide les unes aux autres. Puis il avait pensé à utiliser les accumulateurs comme auxiliaires de sa distribution ; mais c'est resté à l'état théorique.

Vers la même époque, nous trouvons la solution de M. Cabanellas. Il ne se place pas en dérivation ; au lieu d'ajouter un circuit par appareil,

il met les appareils sur un même circuit. Il voulait éviter de grandes intensités de courants. Il est vrai qu'il est obligé d'admettre des forces électro-motrices énormes. Au Congrès des électriciens, M. Cabanellas a fait remarquer à propos des distributions en dérivation que si entre deux points A et B, vous placez de longs conduits qui sont les artères de la distribution, si vous placez ensuite entre ces artères principales des conduits dérivés pour utiliser le courant, vous ne pouvez pas conserver une différence de potentiel constante. Cela est certain ; il n'est pas nécessaire d'établir une formule pour montrer qu'à mesure qu'on rapproche pour ainsi dire les conducteurs, en les réunissant par les dérivations, les potentiels se rapprochent. Mais ce n'est pas un vice réel : toutes les distributions en sont là.

Une distribution d'eau ne conserve pas sa charge dans toute son étendue : elle en perd selon qu'on en prend sur son parcours. Si les deux conducteurs principaux doivent avoir une grande longueur, il va y avoir une diminution de différence de potentiel. On en tiendra compte, et ce ne sera pas une difficulté. Si on avait à faire une distribution d'une grande étendue, on aurait soin de ne pas avoir à poser des conducteurs infinis, on se placerait dans un point central, et l'on porterait dans plusieurs les directions, comme on fait pour la distribution du gaz. On éviterait les grandes longueurs.

C'est sous l'impression de cette critique, qui lui semblait sérieuse, que M. Cabanellas a créé un système de distribution en série. Je crois que, quant à moi, il y aurait une critique bien plus grave à faire à son système, c'est que tous les appareils sont sous la dépendance d'un seul fil, et que, s'il y a un accident au fil, la distribution entière est arrêtée. C'est un vice, et je crois que ce serait une objection capitale à lui faire. Il y a dans ce système un appareil que M. Cabanellas appelle le robinet : c'est le transformateur de l'électricité. Nous serons obligés d'employer l'électricité à haute tension, pour la transporter, mais il y a des appareils qui se prêtent mal à son utilisation sous cette forme; on pourra, il est vrai, les modifier, mais cela n'est pas toujours commode. Les appareils qui veulent avoir de l'électricité à basse tension seront alors mal desservis. Il faudrait donc un appareil détendeur qui reçût une certaine quantité d'électricité tendue, et en rendît une plus grande quantité d'électricité détendue. Le robinet de M. Cabanellas est destiné à remplir cette fonction; il consiste en deux anneaux, genre Gramme, placés sur le même arbre : le premier reçoit le courant, et le second produit l'électricité. Ils sont sous l'influence d'un même inducteur, et, par une disposition convenable, on peut obtenir de ces anneaux la quantité d'électricité qu'on veut.

Je ne sais pas si l'idée est neuve. M. Niaudet a écrit dans un de ses livres que M. Gramme avait fait sur son anneau des enroulements de gros fil et de petit fil : dans l'un, on envoyait le courant, et l'autre rendait le courant de force différente. C'est très ingénieux, et ce serait tout à fait l'idée de M. Cabanellas.

Il y a d'autres idées ingénieuses dans le projet de celui-ci; mais la nécessité de placer tout en série me paraît extrêmement dangereuse. Jointe à d'autres défauts, elle me paraît rendre l'ensemble très peu susceptible d'application.

Reste la troisième solution, qui est celle de M. Deprez. Je vois que M. Deprez n'est pas ici, et il vaudrait beaucoup mieux qu'il vînt vous exposer lui-même la disposition de son appareil.

M. le Président. Lorsque nous traiterons cette question, dans une séance ordinaire, nous entendrons M. Deprez; mais aujourd'hui, pour avoir tout l'ensemble de la question, je vous prie de continuer.

M. Frank Géraldy. — M. Deprez étudie la question depuis assez longtemps. Il avait passé par la même série d'idées que ceux qui l'ont étudiée en même temps que lui. Vers la fin de l'année dernière, il était arrivé au même point que M. Hospitalier. Il était plus avancé, en ce sens qu'il avait pu faire des expériences. Il se proposait même de breveter l'ensemble de ces dispositions; mais M. Hospitalier venait de prendre un brevet analogue, et ce contretemps eut un heureux résultat, puisqu'il l'a obligé à pousser plus loin sa solution, qui est supérieure à la première. Elle consiste en ceci : en disposant les machines d'une certaine façon, on peut arriver à ce que la différence de potentiel entre les deux bornes de la machine soit toujours constante, par un simple jeu de forces physiques. Il a commencé par étudier complètement la marche des machines et par établir une courbe qu'il appelle *caractéristique*, qui se construit de la façon suivante : supposons que, dans les électro-aimants d'une machine, nous fassions passer des courants d'intensité connue, notre machine tourne à une vitesse toujours la même. Nous notons, pour chaque intensité lancée dans l'électro-aimant, la force électro-motrice produite, et nous portons sur deux axes la force électro-motrice en ordonnée et l'intensité en abscisse. Nous obtenons ainsi une courbe qui se rapproche beaucoup d'une ligne droite, dans sa première partie, pour s'infléchir ensuite rapidement. On s'explique cela très bien. C'est qu'en effet, l'aimantation des aimants ne croît pas proportionnellement à l'intensité des courants qui passent autour d'eux ; on arrive à un point de saturation, qui n'est jamais atteint complètement, mais dont on s'approche toujours. La première partie de la courbe peut être considérée comme une sorte de ligne droite, la courbe étant obtenue. Si nous faisons varier la vitesse de notre machine, nous pouvons observer la courbe nouvelle correspondant à cette autre vitesse sans faire d'expériences; en effet, pour une même intensité, les forces électro-motrices sont dans le rapport des vitesses, si donc la première courbe a été obtenue à une vitesse V, il suffira, pour avoir celle qui correspond à la vitesse V', de multiplier toutes les ordonnées de la première par le rapport $\frac{V'}{V}$.

Je passe un peu rapidement, il serait trop long d'entrer dans tous les

détails. Rétablissons les liaisons dans la machine, de façon que son excitation soit due à son propre courant et faisons marcher la machine sur un circuit donné ; si nous connaissons par exemple l'intensité I, nous pouvons, par la courbe, déterminer la force électro-motrice E, ce qui nous permettra de connaître la résistance $R = \frac{E}{I}$ laquelle sera représentée par la tangente d'un angle.

On démontre aisément que si l'on considère la caractéristique d'une machine, que l'on trace sur cette courbe une certaine résistance qui sera la résistance intérieure de la machine, puisque l'on y trace d'autre résistances plus grandes représentant les résistances totales des circuits, la différence de potentiel aux bornes de la machine est représentée par une portion d'ordonnée comprise entre ces deux lignes.

C'est là la grandeur qu'il faut rendre constante. Ceci est réalisable. D'abord, il faut que l'excitation de la machine ne puisse jamais s'annuler, et, pour arriver à ce résultat, il ne faut pas la prendre sur la machine elle-même, il faut prendre une force excitatrice extérieure, alors la caractéristique, sans changer de forme, aura son origine reportée en un point différent. Il faut d'ailleurs remarquer que la caractéristique est tout à fait assimilable à une ligne droite sur une grande partie de son étendue. En la supposant ainsi rectiligne, il suffira, pour avoir une différence de potentiel constante, de donner à cette caractéristique une direction qui la rende parallèle à la ligne qui représente la résistance intérieure de la machine. Or, nous savons que cela se peut en donnant à ce générateur une vitesse convenable.

Dans ces conditions, la différence entre les deux potentiels est absolument et mathématiquement constante ; il suffit de rester, pour le fonctionnement des machines, dans la partie où le champ magnétique est fonction linéaire de l'intensité, ce qui comprend une grande partie du mouvement de la machine ; c'est la partie où elle est réglable.

Voilà en quoi consiste le système : appliquer sur une machine une excitation intérieure, et puis, faire l'excitation de la machine avec la somme de cette excitation de la machine elle-même ; enfin, déterminer une vitesse telle que la caractéristique ait une direction donnée. Vous voyez que, dans ces conditions, il n'y a plus de régulateur ; la régulation se fait par le jeu de forces physiques. Cette solution est, à mon avis, supérieure aux autres.

Qu'elle soit applicable en grand, ce n'est pas douteux. L'expérience faite à l'Exposition est de grande importance pour montrer que le système est applicable. On a mis 22 moteurs au commencement, puis on a ajouté une presse à imprimer ; on a mis des lampes qui atteignent une grande énergie, et je n'ai jamais vu de changement sensible dans la vitesse du moteur, quel que fût le nombre des appareils mis en action. L'expérience me paraît absolument concluante. Les principes sont simples, comme vous le voyez, et d'une sûreté mathématique. Je crois qu'il vau-

drait mieux que M. Deprez vous donnât lui-même la démonstration, comme d'ailleurs il ne manquera pas de le faire ; j'ai dû me borner aujourd'hui à un exposé trop rapide. Ce résultat est d'une simplicité frappante. On ne voit pas qu'aucun obstacle puisse arrêter le développement de ce système, car il peut s'appliquer à toutes les natures de machines. La force à produire n'est pas limitée. M. Deprez prépare en ce moment une expérience importante ; on ne sera pas prêt avant la fin de l'Exposition, et l'expérience sera remise à plus tard ; mais enfin, avant peu, nous verrons quelles peuvent être les conséquences de l'application de ce système si remarquable.

M. Herscher. Je n'aurai pas la témérité de demander à entrer dans le débat et de discuter les explications qui viennent d'être développées ; je réclamerai seulement une rectification au sujet de l'exposition de MM. Geneste et Herscher. Je demande purement et simplement que vous suspendiez votre appréciation sur cette exposition, attendu que les explications qui vous ont été données ne sont pas exactes. D'autre part, le rôle que M. Géraldy prête au régulateur ne se rattache pas au système général de distribution. C'est un régulateur indépendant, applicable à toutes sortes d'autres machines.

On a dit aussi que, lorsque trois appareils étaient commandés, au cas où on arrêterait deux d'entre eux, celui restant en fonction risquerait de s'emballer. Or, le contraire peut arriver.

M. Frank Géraldy. Cela dépend des cas.

M. Herscher. MM. Geneste et Herscher n'ont pas la prétention d'être des électriciens; ils sont ingénieurs-mécaniciens. Appelés fréquemment à transporter de la force à distance et dans cet ordre de faits, l'électricité leur a offert des ressources nouvelles.

Malheureusement, même lorsqu'il s'agit d'employer les machines électro-motrices usuelles, les électriciens ne sont pas en mesure de fournir les renseignements nécessaires aux mécaniciens chargés d'applications. MM. Geneste et Herscher ont dû alors se décider à procéder à des essais comparatifs qui leur ont donné des résultats intéressants et instructifs.

A moins de précautions toutes spéciales, il y a des mécomptes à craindre. Ainsi, avec une machine auto-excitatrice ordinaire employée comme moteur, le travail produit peut varier beaucoup suivant le nombre et la puissance des appareils commandés ; et chacun de ces derniers peut être exposé à fonctionner irrégulièrement. On constate par exemple, ce qui étonne, *a priori*, que si un de ces appareils reste seul au travail, sa vitesse propre risque de diminuer au lieu de s'accélérer.

M. Frank Géraldy. Quand on fait varier la résistance du circuit extérieur d'une machine, de l'infini à zéro le courant passe par un maximum, en sorte que les appareils placés sur ce circuit commencent par s'emballer pour finir par se ralentir, ce qui justifie les faits reconnus par M. Herscher. Je n'ai pas vu le système marcher ; je suis enchanté qu'il

soit meilleur que je ne le pensais. Je suis allé plusieurs fois à l'Exposition pour avoir des renseignements, je n'ai trouvé personne.

M. le Président. Il est entendu que nous suspendons tout jugement sur l'exposition de MM. Geneste et Herscher, et que nous comptons que M. Herscher voudra bien nous donner, dans une de nos séances, des renseignements complets, et nous indiquer quelles sont les tentatives de transport qu'il a faites.

M. Herscher. Nous avons l'intention de poursuivre nos recherches, avec l'espoir d'en tirer des conclusions utiles.

M. le Président. Préparez-nous une communication à ce sujet pour une prochaine séance.

Messieurs, je n'ai pas besoin de vous dire que je remercie M. Géraldy de son intéressante conférence, vous l'avez fait vous-mêmes en l'applaudissant. Je donne la parole à M. Chrétien.

M. Chrétien. Je voudrais demander à M. Frank Géraldy, un renseignement au sujet du rendement dans le transport de la force motrice à distance. Il a dit que ce rendement était indépendant de la distance, et je lui demanderai si on peut transporter à une distance considérable une quantité quelconque d'électricité sans que les conducteurs que l'on emploie donnent lieu à aucune déperdition, surtout dans le cas où on aurait une très grande force électro-motrice.

M. Frank Géraldy. La distance, considérée en elle-même, en dehors des déperditions qui peuvent se produire dans le conducteur, n'a aucune influence sur le rendement. Mais il est clair, qu'en pratique, avec une grande distance, on sera exposé à avoir des pertes.

M. Chrétien. Cette réponse me satisfait, car je dois dire que dans toutes les discussions qui ont eu lieu au congrès des électriciens, on n'a jamais répondu à la question que je posais dans ces termes. Il doit donc être admis que dans toutes les productions d'électricité, il faut frapper le rendement d'un certain coefficient. On n'obtiendra pas à 10,000 kilomètres, ce qu'on obtient à une distance de 10 kilomètres, c'est tout ce que je tenais à constater.

M. Niaudet. Le rendement ne dépend pas de la distance ; le rendement est un rapport, ce n'est pas un travail. La question intéressante pour nous est celle du travail rendu à distance et celle du travail maximum qu'on peut faire rendre à une machine. M. Géraldy nous a clairement démontré que le maximum de travail rendu correspond au cas où la vitesse de la seconde machine est moitié de celle de la première ; le rendement intégral n'aura lieu que si les deux machines tournent à la même vitesse, mais alors le travail transmis comme le travail reçu sera nul. Le rendement intégral de 100 pour 100 est donc un leurre, et la meilleure utilisation correspond au rendement de 50 pour 100.

M. Chrétien. J'insiste sur la question telle quelle a été posée dans une lettre de M. Marcel Deprez, lue à la réunion internationale des électriciens, dans laquelle il disait : Je puis transporter une force de 16 chevaux prise sur un moteur quelconque, à 50 kilomètres, avec un fil de fer de 4 millimètres de diamètre, avec un rendement de 65 pour 100 ; à n'importe quelle distance je pourrai avec ces 16 chevaux obtenir 8 à 10 chevaux.

Est-ce à dire qu'on aura des fils conducteurs qui ne perdront rien en route ? M. Géraldy me répond qu'il faut tenir compte des pertes dans les machines et même des fuites d'électricité, dans ces conditions, nous sommes d'accord et ce n'est plus qu'une question de mesure et de constatations pratiques.

M. Armengaud. Je demande à placer ici une rectification. M. Chrétien regrette de n'avoir pas obtenu au congrès des électriciens, une réponse précise à ces questions ; cette réponse a pourtant été formulée par divers ingénieurs et notamment par M. Marché, qui nous préside aujourd'hui ; ils nous ont dit : les électriciens nous indiquent quel sera théoriquement le rendement, mais en pratique on devra affecter ce chiffre d'un coefficient à déterminer pour tenir compte des déperditions de toute nature auxquelles on est exposé.

La théorie donne des rapports qui dispensent de répéter les expériences indéfiniment, je protesterai toujours avec énergie contre les soi-disant praticiens qui veulent mettre la théorie de côté.

M. Chrétien. Je ne puis qu'en appeler au témoignage de M. Marché en ce qui concerne l'accueil fait au congrès des électriciens, à ses demandes d'éclaircissements sur l'influence des pertes diverses sur la valeur pratique du rendement dans le transport à distance.

M. Marché. — Ce débat un peu animé est le contre-coup de la discussion passionnée qui s'est produite à la réunion internationale des électriciens ; j'ai cru devoir y intervenir à deux reprises pour défendre les principes d'une saine pratique et l'interpellation de M. Chrétien m'oblige à vous résumer ici mon opinion à cet égard.

La discussion s'est d'abord engagée entre électriciens. L'un soutenait que le rendement était fonction des résistances et par conséquent de la longueur du conducteur, de la distance ; les autres affirmaient que le rendement est indépendant de cette distance, comme viennent d'ailleurs de nous le répéter MM. Frank Géraldy et Niaudet, en s'en référant aux démonstrations des théorèmes de M. Marcel Deprez.

Sur ce point, je ferai remarquer que M. Marcel Déprez a démontré que, quelle que soit la distance, on pourra toujours obtenir un rendement donné et transporter un travail déterminé, à la seule condition de modifier les machines de manière à ce que les forces électro-motrices restent dans le même rapport et qu'elles soient augmentées proportionnellement à la racine carrée des résistances.

Pour moi, cela signifie que le rendement, fonction de la résistance, est en même temps fonction d'autres variables et qu'on peut donner à ces variables des valeurs telles que l'influence de la résistance soit annulée, mais ce que je tiens à bien constater, c'est qu'avec des machines de disposition et d'allure connues, si on fait varier la distance qui les sépare, on en verra diminuer le rendement économique, c'est-à-dire, le rapport du travail reçu au travail fourni, et ce qui est pratiquement plus grave la quantité de travail qu'on pourra transmettre. Les résultats des expériences de M. Fontaine que j'ai cités au congrès le démontrent de la manière la plus péremptoire.

D'autre part, il est bien démontré par M. Marcel Deprez, qu'on peut, quand on augmente la distance, maintenir le rendement et la quantité de travail transmis, aux mêmes valeurs, en modifiant les machines, en augmentant la vitesse des machines et la force électro-motrice du courant, par l'emploi sur les machines de fils plus fins et de spires plus nombreuses. La question est de savoir quelle est la limite pratique de ces modifications et si elles n'auront pas pour effet, en pratique, d'accroître dans une grande proportion les pertes résultant de la transformation du mouvement en électricité dans la machine dynamo, du passage du courant (avec une tension de plusieurs milliers de Volts) dans le fil de transmission, et de la transformation de l'électricité en mouvement dans la machine réceptrice. C'est sur la valeur relative de ces pertes que j'ai demandé la production de coefficients d'expérience dont la connaissance est indispensable aux industriels pour leur permettre de se faire une opinion raisonnée sur les avantages du transport de la force à distance par l'électricité comparé aux autres moyens connus de transporter le travail : arbres, courroies, câbles, eau sous pression et air comprimé.

Après l'échange de quelques observations complémentaires présentées par MM. Armengaud, Niaudet, Frank Géraldy et Mekarski, la séance est levée à 11 heures et demie.

Notes sur la 7e Visite.

CLASSE 9.

MOTEURS ÉLECTRIQUES. — TRANSPORT DES FORCES.

Cette visite a lieu sous la direction de MM. Mathieu et Marché.

Les principales installations examinées sont les suivantes :

FÉLIX. Sermaize (Marne). Labourage électrique. — M. Félix, directeur de la sucrerie de Sermaize, s'est proposé d'utiliser la force motrice disponible dans son usine au labourage des champs, à la traction des véhicules rentrant les récoltes et à une série de manipulations coûteuses qui jusqu'alors s'effectuaient à bras d'hommes. Les appareils qui ont été mis en service à Sermaize fonctionnent à l'Exposition. La force motrice est produite par un moteur à vapeur actionnant des machines Gramme d'un aspect très particulier construites par M. Félix. Ces machines à quatre pôles actifs, par l'intermédiaire d'un fil conducteur, lancent leurs courants dans des machines réceptrices semblables, placées sur les appareils que nous allons décrire. Rappelons en deux mots que toutes ces applications sont basées sur les propriétés réversibles des machines dynamo, à savoir : deux machines dynamo semblables étant reliées par un conducteur, si on fait tourner l'une d'elle, elle produira dans son anneau d'armature un courant qui, arrivant par l'intermédiaire du conducteur aux balais de sa conjuguée, fera tourner cette dernière. Le rendement est théoriquement de 50 pour 100 ; nous n'insistons pas sur cette question si épineuse du rendement, question sur laquelle les ingénieurs ne sont pas précisément d'accord avec les électriciens.

Les appareils à labourer comprennent deux grosses machines semblables pesant chacune environ 3800 kilogrammes, portant un tambour de treuil sur lequel s'enroule ou se déroule le câble d'acier de 10 millimètres de diamètre qui conduit la charrue. Ce tambour a un mouvement lent, il y a lieu, pour le commander par une machine dynamo-électrique qui tourne très rapidement, de faire usage d'une série d'engrenages retardateurs. Le dernier engrenage, celui qui lie la machine dynamo-électrique à l'axe du treuil, est un engrenage à frottement. Pour réaliser ce mode de transmission on a eu soin d'entourer de cuir la poulie de la

machine Gramme qui appuie fortement sur la poulie de treuil. — Un commutateur permet à volonté d'arrêter le courant. — Une manœuvre de ce commutateur s'effectue toutes les fois que la charrue est arrivée près de la machine. — A ce moment par un simple mouvement de levier très bien combiné on déplace la commande, la machine Gramme est mise en relation avec une autre série d'engrenages qui rendent motrices les roues du chariot ; si on ouvre le commutateur la machine s'avance de la quantité nécessaire. On coupe à nouveau l'arrivée du courant et on rend, par un débrayage, le tambour fou sur son axe, ce qui permet à la machine placée à l'autre extrémité du champ d'agir par traction sur le câble.

La charrue que nous avons vu fonctionner est à trois socs, genre Fowler elle est réversible. La vitesse est environ de $0^m,60$ à la seconde, le sillon tracé peut avoir une profondeur de $0^m,30$.

Nous pouvons utilement rappeler les chiffres relevés par la commission qui a assisté aux expériences de Sermaize, ces chiffres correspondent à un labourage effectif.

Les fils allant de l'usine au champ avaient une section de 10 millimètres carrés, une longueur totale de 1000 mètres jusqu'au premier treuil et de 1600 jusqu'au second. Ces fils étaient posés sur poteaux recouverts de soie dans les parties en contact avec le sol ou avec la machine. — Le moteur actionnant les machines génératrices était de 25 chevaux. Les deux machines Gramme placées sur les treuils absorbaient chacune 6 chevaux, ce qui correspond à un rendement de 50 pour 100. La vitesse des récepteurs était à peu près les trois quarts de celle des machines génératrices. Un galvanomètre placé sur le circuit, par ses indications permettait de mesurer l'intensité du courant : variable suivant que c'était la machine la plus près ou la plus éloignée de l'usine qui fonctionnait.

Les sociétaires examinent ensuite la locomotive de M. Félix. L'aspect de ce véhicule est celui d'un tender. Il contient une machine Gramme dont l'axe mis en mouvement par le courant qui arrive par deux conducteurs métalliques placés sur longrines en bois, fait tourner par engrenage un essieu intermédiaire qui communique, par bielle, le mouvement aux essieux des roues. — Un frein permet l'arrêt. Un commutateur placé à portée du mécanicien lui donne toute facilité pour couper le courant, ou inverser son sens.

Avant de quitter l'exposition de M. Félix, les sociétaires examinent successivement la perforatrice de M. Chenot, la scie circulaire de M. Arbey et une machine spéciale servant à transformer les tiges ligneuses en filasse.

Exposition de MM. Geneste et Herscher. — Ces messieurs ont voulu reproduire les résultats de leurs expériences personnelles sur la division de la force électro-motrice, obtenus par les dérivations prises sur le fil conducteur d'un courant électrique. Ces applications, antérieures à d'autres que l'Exposition actuelle a fait connaître, ne présentent peut-être pas le même degré de généralité que ces dernières, cependant elles fournissent

une solution pratique, et du reste réalisée, d'un problème industriel qui se présente fréquemment.

Cette application suppose que le travail des appareils à mettre en mouvement reste sensiblement constant; et la solution consiste en principe dans l'emploi, pour chaque appareil à actionner, de fils conducteurs proportionnés au travail à produire par cet appareil.

Dans le spécimen que reproduit l'Exposition, les machines actionnées consistent en trois ventilateurs du genre de ceux que MM. Geneste et Herscher emploient couramment. Chaque ventilateur est actionné par une machine réceptrice, et la machine motrice est située à une extrémité opposée du palais; le circuit a une longueur de 560 mètres.

Une application analogue a été réalisée pour le service même de l'Exposition, MM. Geneste et Herscher ont en effet été chargés d'assurer la ventilation des salles d'audition téléphoniques, et ils ont obtenu ce résultat au moyen de deux ventilateurs mécaniques actionnés par deux machines réceptrices Gramme, du type *b*, recevant le courant d'une machine *a*; un troisième appareil d'une puissance différente, placé dans une autre partie du palais, se trouve également desservi par le même courant de la machine *a*.

Ce mode de transmission a donné lieu à des expériences dynamométriques dans le détail desquelles nous n'entrerons pas. Ces expériences ont mis en évidence des faits intéressants, inattendus *à priori*: Appelant *a* la machine Gramme, du type dit « *Normal* » et *b*, une machine Gramme du type de moindre résistance dit « *Petite lumière*, » on constate qu'en employant comme moteur le type *a*, et comme récepteur, une seule machine *b*, non seulement la puissance transmise est faible, mais le rendement lui-même est bien moindre que lorsque la machine réceptrice offre une résistance égale ou supérieure à celle de la machine Source.

Si on l'intercale alors, en dérivation sur le même courant, une résistance *k*, on voit la machine réceptrice *b* augmenter de puissance, sans pour cela, bien entendu, que le rendement s'améliore lui-même, en raison de la perte due à la présence d'un rhéostat; mais si ce rhéostat est remplacé par une seconde machine réceptrice *b'*, les deux récepteurs *b* et *b'* travaillent chacun dans de meilleures conditions de puissance et de rendement que dans le cas d'un seul récepteur *b* commandé. Une observation du même genre est encore constatée, lorsque l'on introduit un troisième récepteur *b''* dans le circuit.

On conçoit que cette progression dans l'énergie électrique générale développée est limitée; mais, sans entrer dans plus de détails, on aperçoit combien il peut être utile de bien proportionner la puissance de la machine Source à celle des machines réceptrices. Le rendement de 50 pour 100 est obtenu lorsque la somme des résistances présentées par les appareils récepteurs est égale ou supérieure à la résistance de la machine Source.

MM. Geneste et Herscher exposent également un appareil qui pour-

rait porter le nom de « *régulateur-avertisseur des Variations de vitesse.* » Cet appareil qui consiste en un régulateur à boule ordinaire, est disposé de telle façon que, lorsque sa vitesse de rotation descend au-dessous d'une certaine limite, l'abaissement des boules produit le contact d'une tige métallique, avec le mercure contenu dans un petit récipient, et par ce moyen ferme le circuit d'une pile électrique qui met en jeu une sonnerie. Il est facile de régler le niveau du mercure dans le récipient, d'après la vitesse limite convenable, aussi, cet appareil est-il susceptible d'une assez grande précision.

Heilmann, Ducommun et Steinlen. — Le problème résolu par ces constructeurs est le suivant : Condenser toute la production de la force motrice sur une seule machine à vapeur d'une force considérable, ayant un rendement bien supérieur à un ensemble de plusieurs moteurs de moyenne puissance, convertir cette puissance en électricité, au moyen d'une série de machines Gramme, lesquelles peuvent expédier leurs courants dans toutes les directions à des machines semblables placées près des arbres moteurs des outils à actionner. — Inutile d'ajouter que des commutateurs placés à chaque machine permettent de couper le courant toutes les fois que les outils ne travaillent pas. — Ces messieurs ont installé à l'Exposition un petit atelier contenant dix machines-outils qui marchent sous l'influence de machines dynamo-électriques recevant le courant de machines semblables placées à 50 mètres, ces dernières sont actionnées par une locomobile. Cette solution simple et élégante est-elle économique?

Circuit Deprez. — Comme dernière application de la transmission à distance, les sociétaires ont examiné en détail les nombreuses installations de M. Marcel Deprez, qui consistent en un circuit de 2,200 mètres, sur lequel sont placées en un très grand nombre de points des machines magnéto-électriques dont la puissance varie de 5 à 250 kilogrammètres, ces diverses machines actionnent des presses à imprimer, des régulateurs, des machines à coudre, etc., etc. La particularité du circuit consiste dans le mode d'attelage des machines génératrices, avec le moteur à gaz, produisant le courant dans le circuit; attelage tel, que la force motrice dépensée est proportionnelle au travail à effectuer. Ce qui fait que, supposant toutes les machines en action dans le circuit, le moteur à gaz donne le maximum de travail; si l'on supprime plusieurs de ces machines, le moteur à gaz proportionne sa dépense au nouveau travail à produire, sans pour cela que l'allure des machines qui n'ont pas cessé de fonctionner soit changée. A ce point de vue, la solution de M. Marcel Deprez est des plus intéressantes.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Résumé paraissant les premier et troisième vendredis de chaque mois.

SÉANCES-VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

PROCÈS-VERBAL DE LA 8e SÉANCE-VISITE

tenue le Mardi 25 Octobre 1881

Présidence de M. Henri Mathieu.

La séance est ouverte à neuf heures et demie du matin.

M. le Président. Messieurs, le programme de la journée comprend la fabrication des fils des câbles sous-marins et autres. Je vais donner la parole à M. Berthon, qui veut bien nous faire une communication sur cette fabrication.

M. Berthon. Messieurs, je vais vous donner quelques détails sur la construction des lignes aériennes et des lignes souterraines téléphoniques.

La construction de ces lignes, dans les villes, a pris un grand développement, et a donné une importance considérable à la fabrication des fils et des câbles électriques.

La plupart des lignes téléphoniques, construites dans différents pays, sont des lignes aériennes : à Paris seulement, le réseau est exclusivement souterrain. Au début, on avait commencé à construire des lignes aériennes, mais bien vite on a abandonné ce système de lignes, à cause de ses nombreux inconvénients, et il ne reste aujourd'hui que cent et quelques kilomètres construits au début de l'exploitation. La grande difficulté qu'on a d'obtenir des propriétaires l'autorisation de poser, sur la toiture des maisons, des poteaux et les installations nécessaires pour l'établissement des lignes, nous a fait abandonner ce système de construction qui est d'un

aspect désagréable au-dessus des villes. En Amérique, c'est une véritable toile d'araignée au-dessus de New-York, de Chicago et d'autres villes.

Cependant les lignes téléphoniques aériennes sont employées en France, parce que, dans beaucoup de villes où l'on a établi des réseaux, il est impossible de faire autrement.

Ces lignes se construisent avec des fils d'acier de 2 millimètres de diamètre ; la charge de rupture de ce fil est de 350 kilogrammes.

Le poids par kilomètre est de 25 kilog. La portée maximum, entre les supports, est de 200 mètres; cette portée a été imposée par l'administration, en vue de la sécurité publique. La hauteur maximum est de 10 mètres au-dessus de la voie publique.

La construction des lignes aériennes est très difficile : il faut sceller sur les toitures des maisons des poteaux en fer de 1^{m},50 à 3 mètres de hauteur. Ces poteaux sont en fer forgé de 4 centimètres de diamètre, avec isolateurs de porcelaine, au nombre de 12, au maximum. Ces isolateurs, si on y fixait directement les fils d'acier, donneraient lieu à des bruits très gênants, car les fils, vibrant sous l'action du vent, rendent des sons de harpe éolienne qui peuvent se transmettre jusque dans les appartements.

Pour éviter cet inconvénient, on est obligé d'interposer à chaque isolateur une sourdine, dont voici un modèle.

Cette sourdine se compose d'une corde de chanvre placée dans un tube en caoutchouc; aux deux extrémités, il y a deux poulies en porcelaine qui servent d'attaches aux fils, et la partie interrompue de la ligne est remplacée par un fil d'acier plus fin. La sourdine est fixée au cou de la cloche avec un nœud coulant. Les vibrations se trouvent complètement éteintes par ce système de sourdines. Toutefois, ces sourdines sont d'une durée assez limitée ; le tube en caoutchouc, sous l'action des intempéries, ne se conserve pas longtemps. Il se gerce et n'est plus alors une protection suffisante pour la corde de chanvre. Malgré ces inconvénients, on les emploie quand même, puisqu'il n'y a pas de système meilleur.

Cependant en Belgique, on emploie un système de sourdine plus simple que celui-ci et qui paraît donner d'assez bons résultats. Il consiste en une petite spirale en plomb que l'on place sur le fil, de chaque côté de l'isolateur; on commence par attacher le fil au cou de la cloche, et on enroule autour un petit cylindre en plomb de 5 millimètres de diamètre. Cela suffit à éteindre les vibrations sur les lignes.

M. Postel-Vinay a essayé ce système, à Paris ; il prétend qu'il ne donnait pas de bons résultats. Il y avait à craindre que les locataires des maisons, sur lesquelles les poteaux étaient installés ne fussent pas satisfaits, de sorte qu'on continue à employer le système de sourdines que j'ai décrit.

La conductibilité électrique du fil d'acier de 2 millimètres de diamètre est à peu près la même que celle d'un fil de fer de diamètre égal; et,

comme dans les lignes télégraphiques on emploie des fils de 4 millimètres de diamètre, il s'ensuit que le fil d'acier de 2 millimètres possède une conductibilité quatre fois moindre que celle du fil de fer de 4 millimètres de diamètre, c'est-à-dire qu'un kilomètre de fil d'acier a une résistance électrique égale à quatre kilomètres de fil de fer de 4 millimètres. La résistance du fil télégraphique étant de 10 ohms, celle du fil d'acier téléphonique est de 40 ohms. A raison de cette résistance, on est obligé d'employer un nombre plus considérable d'éléments de pile pour les sonneries d'appel.

MM. Montefiore, Levi et Weiller, d'Angoulême, ont fait récemment des essais de lignes téléphoniques avec des fils de bronze phosphoreux, dont les propriétés sont vraiment remarquables; ces fils de bronze, sous un diamètre de 1/10 de millimètres, pourraient remplacer le fil d'acier de 2 millimètres de diamètre. La conductibilité électrique du bronze phosphoreux serait égale à 4 fois celle du fer et sa charge de rupture serait de 100 kilogrammes par millimètre carré.

On voit que si l'on pouvait arriver à faire les lignes téléphoniques avec de semblables fils, il y aurait un grand avantage, puisque ces lignes seraient moins visibles en l'air et exigeraient des supports moins solidement établis; les constructions métalliques qu'on est obligé d'élever pour les entrées de poste des bureaux centraux seraient considérablement diminuées et auraient une masse beaucoup moindre pour la même solidité, puisqu'on pourrait employer, au lieu d'une charpente très coûteuse, une ossature beaucoup plus légère.

Les avantages des fils de bronze phosphoreux sont incontestables; seulement, la fabrication de ces fils n'est pas encore arrivée au degré de perfectionnement voulu. Dans un échantillon que M. Weiller nous a envoyé, nous avons constaté que la résistance électrique n'était guère que deux fois et demie celle du fer. D'autres échantillons donnaient une résistance égale à peu près à celle du fer. Il semble aussi que la résistance à la rupture, qui constitue la propriété essentielle de ces fils, n'est obtenue qu'au détriment de la résistance électrique.

Un des principaux avantages du bronze phosphoreux, c'est qu'il est complètement inoxydable; par conséquent, il n'y a pas besoin de le galvaniser ni de le couvrir d'un enduit protecteur.

On emploie déjà ce fil de bronze phosphoreux, en Belgique, sur une grande étendue du réseau. On commence à l'employer, en Allemagne; en France, on se propose d'en faire l'application sur les réseaux de province. A Paris, on n'en a pas encore fait l'essai.

J'ai ici un nouveau modèle de fil destiné aux lignes aériennes. Ce fil se compose d'une âme en cuivre, garnie d'un guipage enduit d'une matière isolante et d'un ruban de fer ou d'acier qui est laminé avec le fil lui-même, ce qui forme une gaine protectrice. Ce fil aurait ainsi la résistance du fil d'acier ou de fer, et l'avantage de présenter un double con-

ducteur, c'est-à-dire, de pouvoir être employé dans les lignes aériennes, où il faudrait un fil de retour.

L'inconvénient des lignes aériennes, c'est qu'elles ne peuvent se construire qu'à un seul fil; et, par conséquent, elles sont soumises aux effets d'induction résultant des actions réciproques des fils voisins, il en résulte que les conversations entre les abonnés se trouvent troublées, dans le réseau téléphonique. Aussi, dans les réseaux souterrains, on a été conduit à construire les lignes avec fil de retour, car autrement les effets s'y feraient trop sentir.

Dans les lignes aériennes, il est nécessaire de protéger les appareils par des paratonnerres; ceux qu'on emploie sont fort simples: ils sont à pointes formant dentelure, et suffisent, en général, à protéger les appareils.

Dans les lignes mixtes, c'est-à-dire aux points de jonction des lignes souterraines avec les lignes aériennes, l'administration s'est préoccupée de protéger la partie souterraine par des moyens d'une efficacité reconnue. Elle emploie le paratonnerre de Bertsch qui se compose d'une série de pointes placées en regard les unes des autres. La surface de ce paratonnerre est considérable, c'est un des appareils protecteurs qui donne le plus de sécurité. Les deux attaches des fils de ligne sont recouvertes par de petits chapeaux en caoutchouc durci. Généralement, on place, sur l'un des côtés du paratonnerre, une plaque en porcelaine qui permet de voir s'il y a des pointes qui se touchent, et dans ce cas, à l'aide d'une vis, on réduit la distance de manière qu'elle soit égale dans son étendue.

Le coût des lignes aériennes est assez élevé. Il est d'environ 300 francs le kilomètre.

J'arrive maintenant à la construction des lignes souterraines, qui ont pris, à Paris, une grande importance. Le réseau présente actuellement une étendue de 1,800 kilomètres.

Les câbles employés sont de deux sortes: les câbles à deux conducteurs, c'est-à-dire les câbles destinés à construire les branchements, et les câbles à 14 conducteurs employés pour les artères principales. Les câbles à 14 conducteurs sont composés de fils de cuivre isolés à la gutta-percha. Voici la spécification du premier modèle que nous avons employé: les fils ont un diamètre de $0^{mm},7$ et sont recouverts d'une couche de gutta-percha de $0^{mm},5$ d'épaisseur; ils sont recouverts de guipages en coton de différentes couleurs, ce qui permet de reconnaître les conducteurs réunis sous la même enveloppe de plomb.

Ce câble a donné, jusqu'à présent, de bons résultats. Cependant, l'Administration a pensé qu'il convenait d'employer un câble plus résistant que celui-ci, et a adopté un câble qui, au lieu d'avoir un fil de $0^{mm},7$, se trouve composé de trois petits fils de cuivre de $0^{mm},5$ de diamètre tordus ensemble; la couche de gutta-percha a été portée à $0^{mm},9$. Ce qui a fait augmenter l'épaisseur de la couche de gutta-percha, ce n'est

pas la crainte d'avoir un câble peu durable, mais la grande difficulté que les constructeurs éprouvent, en été, à recouvrir uniformément les fils d'une couche aussi mince de gutta-percha.

Pendant l'été, la gutta-percha adhère très difficilement au cuivre, de sorte que, dans les épreuves que le contrôle de l'Administration des Postes et des Télégraphes fait subir aux câbles, pour la réception, une grande quantité de câbles avaient été refusés pour insuffisance d'isolement. Les constructeurs ont réclamé, et l'Administration a admis leurs réclamations qui étaient fondées. Elle a invité la Société des téléphones à accepter une nouvelle spécification de câbles qui a aussi pour avantage de diminuer la résistance électrique du conducteur; la résistance électrique du conducteur de $0^{mm},7$ était de 45 ohms par kilomètre. Celle du nouveau câble se trouve réduite à 30 ohms.

Cette résistance est un inconvénient dans les lignes téléphoniques, puisqu'elle oblige à augmenter le nombre des éléments de piles placés chez les abonnés pour l'appel.

La construction des câbles est une opération assez simple. Le conducteur , après avoir été tressé (il se compose actuellement de trois brins tordus ensemble, comme je l'ai dit) est introduit dans un cylindre qui porte un piston. Ce cylindre est rempli de gutta-percha maintenue à la température de fusion ; un piston placé au-dessus comprime la gutta, en même temps que le fil, entraîné à travers un ajutage qui a un diamètre égal à la section qu'on veut donner au conducteur, sort recouvert d'une couche de gutta dont l'épaisseur se trouve ainsi uniforme.

A sa sortie du cylindre, le conducteur recouvert passe dans une bâche remplie d'eau froide, constamment renouvelée, qui suffit pour solidifier immédiatement la gutta. Les conducteurs, ainsi obtenus, sont recouverts de guipage de coton de couleurs différentes. Quatorze conducteurs choisis deux à deux d'une même couleur sont préalablement tordus ensemble deux à deux, de manière à former sept conducteurs doubles de couleurs différentes, puis ces sept conducteurs doubles sont eux-mêmes tordus ensemble en un seul câble.

Ce câble est tiré dans des tubes en plomb de cent mètres de longueur environ, sur des tables spéciales qu'on appelle tables de mise en plomb. On opère la soudure de ces différentes longueurs de cent mètres chacune, dont on forme des longueurs continues, on forme ainsi un câble de 500 mètres de longueur environ qu'on enroule ensuite sur des bobines de tôle. Vous avez pu voir, à Paris, quelques-unes de ces bobines, devant les regards d'égouts et des employés occupés à les dérouler, pour la Société des téléphones ou l'administration des télégraphes de l'État.

Le prix du câble sous plomb, à 14 conducteurs, à un seul brin 7/10, est de 1525 fr. le kilomètre, soit 218 fr. par conducteur double. Ce prix est assez élevé; c'est ce qui fait que la construction des lignes téléphoniques est encore assez chère.

Le prix du nouveau câble à trois brins 5/10 est de 2900 fr. : les lignes vont encore coûter plus cher.

MM. Berthoud et Borel ont pensé qu'il y avait intérêt à rechercher un procédé de fabrication des câbles plus économique.

Voici en quoi consiste le procédé de MM. Berthoud et Borel.

Le cuivre destiné à former le conducteur est placé sur les tambours d'une machine destinée à tordre ensemble les différents brins qui doivent former le conducteur et en même temps le recouvrir d'une ou plusisurs couches superposées de coton écru enroulées en sens inverse les unes des autres.

L'enveloppe de coton a pour but d'assurer la position parfaitement centrale du conducteur dans les câbles à un seul fil et de maintenir une distance régulière constante entre les différents conducteurs dans les câbles à plusieurs fils.

Le coton écru employé sans autre préparation ne donnerait qu'une isolation insuffisante, mais lorsqu'il est complètement desséché son pouvoir isolant est excellent. Pour enlever toute trace d'humidité il est plongé dans une chaudière renfermant un mélange de paraffine et de colophane maintenu à une température d'environ 200° centigrades.

L'humidité contenue dans les fils disparaît entièrement ainsi et il ne reste plus alors qu'à recouvrir le câble de sa gaine protectrice en plomb.

Nous avons décrit le procédé de mise en plomb des câbles isolés à la gutta percha. Voici le procédé de MM. Berthoud et Borel : ils sont arrivés par une seule opération à la fabrication du tuyau de plomb, à l'introduction du conducteur dans ce tuyau et à son remplissage parfait par a matière isolante.

La machine à câbler qu'ils emploient pour cette triple opération et que nous représentons en coupe verticale consiste en une puissante presse hydraulique dont le plateau inférieur mobile est remplacé par un piston P. Le plateau supérieur fixe est formé d'un cylindre métallique percé d'un trou dont le diamètre est égal à celui du piston. Une tige ou broche en acier *t* perforée dans toute sa longueur peut se mouvoir dans l'axe du cylindre creux et se trouve solidement reliée au piston inférieur par deux fortes colonnes en acier *c*. La partie supérieure du piston percé lui-même dans toute sa longueur porte une sorte de filière dont la grandeur détermine le diamètre extérieur du tube de plomb qui doit servir de gaine au câble. La partie inférieure de la broche porte un ajutage conique qui entre d'une petite quantité dans la filière que supporte le piston de sorte qu'entre la filière et le cône, il reste un espace annulaire représentant exactement la section que doit avoir le tuyau de plomb. On remplit de plomb le cylindre creux M au-dessus du piston et en faisant agir la pression hydraulique, on conçoit que le plomb comprimé soit forcé de s'écouler sous la forme d'un tube. La pression nécessaire pour ce travail est considérable. Elle est d'environ 4000 kilogrammes par centimètre

Machine à câbler.

carré pour le plomb à la température ordinaire et d'environ 1500 kilogrammes pour le plomb chauffé à 120°.

La partie supérieure de la broche supporte une petite chaudière contenant la matière isolante maintenue complètement liquide par la chaleur.

Cette matière varie de composition suivant les résultats que l'on veut obtenir.

Le plus ordinairement elle se compose de colophane mélangée d'une certaine quantité de paraffine.

On obtient aussi une matière très élastique avec un mélange de colophane et du camphre.

Le fil de cuivre recouvert de coton est introduit au travers de la matière isolante et de la broche jusqu'à l'ouverture de la filière et comme le diamètre du tuyau de plomb est choisi de manière à le comprimer légèrement, il est entraîné par celui-ci au fur et à mesure de sa fabrication, en même temps que tous les interstices libres entre le conducteur et le plomb sont entièrement remplis par la matière isolante liquide qui s'écoule de la chaudière supérieure.

A la sortie du piston le câble s'enroule automatiquement sur la bobine E placée pour le recevoir.

Dans l'origine, il y avait de très grandes difficultés pour maintenir le cône terminal de la broche au centre de la filière et la fabrication n'a pu devenir régulière que du moment où cette difficulté a été écartée par une disposition spéciale de cette pièce, qui empêche tout mouvement latéral de la tige.

Pendant longtemps les câbles fabriqués par le procédé n'étaient protégés que par une seule enveloppe de plomb. Mais jugeant aujourd'hui que dans certains cas cette protection peut être insuffisante nous recouvrons maintenant tous nos câbles d'une seconde enveloppe de plomb qui se place au moyen de la même machine.

L'espace libre entre les deux tubes est rempli par une matière très adhérente au plomb le brai gras. Pour que cette couche de brai soit régulière le premier tube de plomb porte des cannelures longitudinales dont la profondeur détermine l'épaisseur de cette couche.

Le procédé de fabrication étant connu, examinons maintenant si le produit possède les qualités que l'on exige d'un bon câble.

Avec le mélange de résine et de paraffine ordinairement employé, la résistance à l'isolation est en moyenne de 3 à 5000 mégohms pour un conducteur de 1/2 millimètre de diamètre recouvert de 1/2 millimètre de matière isolante.

La capacité électro-statique est pour des épaisseurs correspondantes la moitié environ de ce qu'elle est pour la gutta-percha.

Nous avons essayé ce système de câble, dans le réseau téléphonique de

Paris. Jusqu'ici, il semble devoir donner de bons résultats, comme isolement.

Mais, au point de vue de la facilité d'emploi, il n'est pas ce qu'on peut désirer. Par suite de la haute température à laquelle le plomb est porté, pendant la fabrication, les matières colorantes, employées pour distinguer les différents conducteurs, ont entièrement disparu. Ce qui présente le grave inconvénient, que l'on ne peut plus reconnaître les différents conducteurs aux extrémités d'un même câble.

Pour remédier à cet inconvénient, MM. Berthoud et Borel proposent et viennent de construire des échantillons de câbles avec des guipages blancs et noirs variés.

Ces couleurs, n'étant pas altérées par la température à laquelle le câble se trouve soumis pendant sa fabrication, l'inconvénient signalé plus haut ne sera plus à redouter.

Le câble de MM. Berthoud et Borel coûte environ 1,700 francs le kilomètre.

J'arrive maintenant à vous parler d'un autre genre de câble destiné peut-être à produire un jour une véritable révolution dans la construction des lignes téléphoniques dont le prix jusqu'ici est encore trop élevé pour que l'usage du téléphone puisse se répandre davantage. Je veux parler du câble Brooks.

M. David Brooks, de Philadelphie, a eu, déjà depuis longtemps, l'idée de fabriquer des câbles par le procédé suivant : ses conducteurs préalablement recouverts d'un guipage en coton, sont tirés simplement dans des tubes en plomb ou en fer, par longueurs de 600 mètres environ. Ces différentes longueurs sont raccordées de manière à former une enveloppe et un câble continus.

Aux points de raccordement, on a ménagé des tubulures surmontées de petits réservoirs fermés par des bouchons à vis. C'est à l'aide de ces réservoirs que l'on remplit le tube, formant l'enveloppe continue du câble, d'huile brute de pétrole, et que l'on y maintient le liquide à un niveau constant.

L'huile brute de pétrôle constitue un isolant excellent et à très bon marché.

On obtient ainsi un câble pouvant comporter un nombre quelconque de conducteurs parfaitement isolés. M. Brooks prétend que l'on pourrait mettre jusqu'à 300 conducteurs téléphoniques, dans un tube de 30 à 40 millimètres de diamètre.

Économie de prix de revient, de pose, d'entretien, immunité complète des effets d'induction, tels seraient les nombreux avantages attribués au câble Brooks.

La pose des câbles téléphoniques en égouts a lieu en vertu d'une convention intervenue entre la Ville de Paris et la Société générale des Téléphones.

Cette convention, passée récemment, implique un droit de redevance à

la ville assez élevé : 20 francs pour les 500 premiers kilomètres ; 30 francs pour les 500 kilomètres suivants ; 40 francs pour les 500 kilomètres et 50 francs au delà. Le droit, pour les lignes aériennes, est de 10 francs quelle que soit la longueur de la ligne.

Les câbles en égouts sont placés sur des crochets qui sont fixés à la voûte à l'aide d'un scellement disposé pour pouvoir recevoir différentes espèces de crochets.

Ce scellement fixe porte de petits boulons en cuivre avec écrous, qui permettent de remplacer le crochet, quand il y a lieu, sans remplacer le scellement. C'est une heureuse disposition que l'Administration a adoptée.

Chaque crochet peut contenir 51 câbles ; ces 51 câbles comportant chacun 7 conducteurs, cela fait 357 conducteurs que peut recevoir chaque crochet. Les crochets ont 30 centimètres de longueur sur 5 centimètres d'épaisseur.

On voit que ce nombre de 357 lignes par chaque crochet est largement suffisant pour desservir tous les abonnés, quel qu'en soit le nombre que la Société pourra avoir un jour.

On s'était effrayé de l'encombrement qui pourrait résulter d'un nombre considérable d'abonnés ; cela a été, à l'origine, une des grandes préoccupations de l'Administration municipale ; mais on voit, par ce qui précède, qu'il n'y a pas lieu de se préoccuper de cela. L'emploi du câble en 14 conducteurs, actuellement adopté, résout entièrement la question de l'emplacement à réserver dans les égouts aux fils téléphoniques.

J'ai indiqué ici la coupe d'un égout du boulevard de la Madeleine, pour vous montrer comment l'espace à la voûte se trouve réparti entre les divers services qui sont venus y fixer des canalisations hydrauliques pneumatiques ou électriques. C'est d'abord la Ville de Paris avec ses conduites d'eau, puis les télégraphes avec le réseau télégraphique et pneumatique, la Compagnie des horloges pneumatiques.

La Ville de Paris, avec ses fils électriques, desservant ses divers établissements municipaux.

Les fils servant à l'unification de l'heure dans Paris.

Les crochets supportant les fils téléphoniques.

Viendront enfin les câbles pour la canalisation de l'électricité appliquée à la lumière et au transport de l'énergie.

Les diverses canalisations électriques n'occupant chacune qu'un espace très restreint, toutes trouveront probablement à se loger côte à côte dans les égouts.

Messieurs, j'ai terminé ce que j'avais à vous dire sur la construction des lignes téléphoniques.

M. le Président. Messieurs, vous venez d'entendre l'intéressante communication de M. Berthon, sur la pose des fils téléphoniques, dans les

conduites souterraines et dans les lignes aériennes ; quelqu'un a-t-il des explications complémentaires à demander à M. Berthon? Il a été d'ailleurs aussi clair que possible, et je le remercie.

Un Membre. Je demanderai, dans le cas des câbles avec liquide isolant, comment s'y prend-on pour faire les soudures de ces câbles?

M. Berthon. Elles se font d'une façon assez simple. Avec un tube en fer ou en plomb, il y a des ajutages de distance en distance. Supposez des tubes en fer creux, comme ceux qui ont été employés au début. On fixe en point un T, et les différents fils alors sont recourbés ; on fait une ligature de manière à amener toutes ces ligatures dans un tube qu'on remplit avec de la paraffine solide, de sorte que, si on avait un branchement à faire, il peut sortir du tube sans qu'il y ait à craindre d'écoulement. Le tout est recouvert d'un bouchon qui sert à prévenir même l'écoulement de la paraffine dans le cas où elle viendrait à fondre. Maintenant, pour maintenir toujours le tube rempli de pétrole, on dispose tous les 600 mètres des T semblables, au-dessus desquels on fixe un réservoir qui est toujours maintenu rempli d'huile de pétrole, pour parer au coulage ou aux fuites et entretenir constamment le câble noyé dans ce liquide isolant. Ce réservoir est lui-même bouché à la partie supérieure, à l'aide de bouchons.

M. Marché. Où a-t-on fait les essais de ce câble?

M. Berthon. En Amérique, pour lignes téléphoniques et lignes télégraphiques. Il est aussi en essai en Angleterre, entre Norwich et Londres, sur la ligne du chemin de fer; il donne de bons résultats. Si les avantages signalés par M. Brooks existent, ce serait un grand progrès; pour les lignes téléphoniques surtout, on pourrait remplacer les lignes aériennes par des lignes souterraines de ce système.

M. Marché. Alors on renoncerait aux égouts?

M. Berthon. Les rues à Paris sont canalisées, elles se prêtent beaucoup à l'installation des lignes souterraines; mais à Marseille, à Bordeaux, dans toutes les villes de provinces, nous sommes obligés de construire des réseaux aériens, qui ont leurs inconvénients, et de plus coûtent cher. Un des principaux inconvénients vient de ce que les maisons de province se prêtent fort mal à la pose des poteaux de support des fils sur les toitures. Les maisons sont recouvertes en ardoises ou en tuiles, et les ouvriers obligés de monter fréquemment pour réparer les lignes, occasionnent des dégats, dont les propriétaires se plaignent.

Si le câble Brooks réussit on fera partout des lignes souterraines, qui sont préférables au point de vue du peu d'entretien auquel elles donnent lieu.

M. Marché. N'y a-t-il rien à craindre en mettant ainsi dans les égouts ces fils enduits de pétrole.

M. Berthon. Il n'y a rien à craindre de l'huile de pétrole dans les

conditions où on l'emploie; elle ne dégage pas de vapeur; c'est l'huile tout à fait brute, ayant subi seulement une ou deux distillations. Cette huile n'émet de vapeurs qu'à une température élevée, 145° environ. L'Administration des Télégraphes va faire un essai de ces câbles non seulement pour lignes téléphoniques, mais pour lignes télégraphiques de l'État.

M. le Président. Je donne maintenant la parole à M. E. Boistel pour sa conférence sur la construction des câbles sous-marins.

Messieurs,

Il y a quelques jours, j'étais appelé à résumer dans une autre enceinte la question de la télégraphie sous-marine. On a bien voulu me demander de la développer aujourd'hui devant vous. C'est un honneur auquel j'étais loin de m'attendre. M'y dérober eût été peu gracieux; il m'a semblé d'ailleurs que ce sujet pouvait vous intéresser aussi bien que des électriciens de profession qui y sont pour la plupart complètement étrangers.

La télégraphie sous-marine est en effet fort peu connue en France, par cela même qu'elle y est peu répandue.

Notre situation géographique d'une part, et d'un autre côté notre esprit moins entreprenant et moins commerçant que celui de l'Angleterre en sont la principale cause.

Par suite un petit nombre d'entre nous ont eu l'occasion de manier cet appareil, qui a le grave défaut de coûter plusieurs millions, et ont pu y appliquer leur étude.

Intrus au milieu de vous, je n'ai d'autres droits à revendiquer que ceux de l'hospitalité. C'est sous leur sauvegarde que je me place, en sollicitant toute votre indulgence.

Historique. — Je n'entreprendrai pas, Messieurs, de vous faire l'historique détaillé de la télégraphie sous-marine. Sœur cadette de la télégraphie électrique aérienne, elle n'a pas en réalité plus de trente ans de date, et encore comptons-nous dans cette existence une période décennale où elle resta à l'état d'enfance.

En effet, depuis l'année 1840, où le professeur Wheatstone en manifesta la première conception, dans un comité élu par la chambre des communes, jusqu'au 28 août 1850, jour mémorable où Brett posa le premier câble entre Douvres et Calais, reliant ainsi la France à l'Angleterre, nous ne rencontrons guère que des essais de laboratoire en quelque sorte, ayant pour siège les baies de Plymouth ou de Folkestone.

Le brillant succès de Brett ne fut malheureusement qu'éphémère; quelques heures à peine après l'échange des premiers mots qui aient traversé la Manche, le câble se brisa : Il était constitué par un fil unique, simple-

ment recouvert de gutta-percha, et n'avait pu résister, soit au ballottement des vagues sur les côtes, soit à quelque effort de tension.

Néanmoins la possibilité d'une semblable opération ainsi consacrée par l'expérience, on se mit résolument à l'œuvre et pendant les dix années qui suivent, nous assistons à une série non interrompue de tentatives plus ou moins heureuses, mais qui révèlent chez leurs auteurs une persévérance et une énergie dignes de toute notre admiration. Durant cette période l'Angleterre est successivement reliée à la France (1851), à l'Irlande (1852), à la Belgique et à la Hollande (1853); les essais se multiplient, les améliorations se succèdent, les types se modifient dans la construction, et enfin, en 1856, on croit être en état d'affronter l'Atlantique. Un câble est commandé et le 5 *octobre* 1858, est réalisé le rêve gigantesque de relier électriquement les deux mondes : l'Europe est en communication avec l'Amérique. Ce prodige ne fut cependant pas de longue durée ; après un rapide affaiblissement des signaux, la transmission cessa complètement, le 1er novembre ; le câble, à jamais perdu, avait duré vingt-huit jours.

En 1858 et 1859, la Méditerranée et la mer Rouge avaient aussi été témoins d'essais du même genre plus ou moins infructueux.

Le récit détaillé de toutes ces entreprises offre tout l'intérêt d'un roman ; je dirais volontiers d'un drame. En le relisant, on se sent pris alternativement d'admiration et de crainte pour ces valeureux pionniers traçant à travers le plus redoutable des éléments une voie nouvelle à la science et à la pensée. On partage leurs espérances ; on prend part à toutes les péripéties de leurs laborieux voyages ; on croit toucher avec eux le port et le succès ; et le cœur se navre à la vue de tant d'efforts dépensés en vain dans cette grande lutte de l'esprit contre la matière.

C'est qu'en effet, Messieurs, la science n'avait pas encore assez étudié les détails de ce difficile problème et ne s'était pas suffisamment mêlée à ces vastes entreprises.

De 1851 à 1860, 50 câbles avaient déjà été posés, représentant une longueur totale de 19,000 *kilomètres ;* en 1860 ils étaient réduits a 20 ne dépassant pas 4 *à* 5,000 *kilomètres.*

Le gouvernement anglais s'émut de tant d'insuccès qui avaient déjà englouti une quarantaine de millions et chargea en 1859 une commission technique d'étudier, sous toutes ses faces, la grande question de la télégraphie sous-marine.

Les remarquables travaux de cette commission fixèrent telles qu'elles existent encore aujourd'hui les règles qui doivent présider à l'exécution de ces œuvres grandioses.

Ce fut une ère nouvelle pour la télégraphie sous-marine qui dès lors prit son essor, et compensa depuis par autant de victoires ses premiers insuccès.

Sans parler des câbles des États, vingt compagnies télégraphiques se partagent aujourd'hui les correspondances sous-marines du monde, avec 155 câbles représentant un capital de 725 millions de francs.

Les câbles d'États, généralement de petite longueur et au nombre de 420 d'après les derniers relevés, complètent, avec les précédents, un réseau sous-marin total de 78,580 milles marins ou 145,760 kilomètres, soit plus de trois fois et demi la longueur du méridien terrestre.

Les Compagnies transatlantiques, dont les câbles, avec ceux de l'Inde, constituent à proprement parler la *grande télégraphie sous-marine,* principal objet de cette rapide étude, les Compagnies transatlantiques, dis-je, au nombre de cinq, figurent à elles seules pour le tiers de cet immense réseau. Grâce à M. le comte Dillon, créateur de la Compagnie française du télégraphe de Paris à New-York, la France a l'honneur de posséder une de ces lignes ; et je crois être ici l'interprète de vos sentiments en émettant le vœu qu'elle la conserve en toute indépendance, seul gage d'un avenir prospère.

Jusqu'ici le Pacifique seul n'a pas encore été traversé par un de ces véhicules de la pensée, mais le jour n'est peut-être pas éloigné où à son tour il livrera passage à ces merveilleux engins qui étreindront ainsi dans leurs mailles de plus en plus resserrées notre globe terrestre.

Ce rapide aperçu doit suffire à vous faire comprendre, Messieurs, l'importance du sujet que je suis amené à développer devant vous. Quoique nous soyons bien loin ici de ces courants de grande intensité et de ces torrents d'électricité que l'on cherche à distribuer de tous côtés, cette application de notre science favorite est celle qui a jusqu'ici donné lieu aux plus vastes entreprises industrielles, et j'espère qu'à ce titre vous voudrez bien lui accorder votre bienveillante attention.

J'aborde immédiatement la question de constitution d'un câble sous-marin, non sans toutefois vous dire un mot des sondages, préliminaires indispensables de la pose d'un câble.

Route à suivre. — Sondages. — Étant donnés les intérêts commerciaux qu'un câble doit desservir, les points qu'il doit toucher, la première nécessité qui s'impose aux ingénieurs est le choix et l'étude de la route à suivre. Si, en effet, la ligne droite est le plus court chemin d'un point à un autre et mérite à cet égard toute préférence en raison du prix élevé d'un câble, ses conditions de bon établissement et de vitalité sont également dignes d'une sérieuse considération.

A cet effet des sondages sont pratiqués à des distances plus ou moins espacées suivant la configuration du sol ; assez éloignés quand le fond est uniforme, on les rapproche à deux ou trois milles l'un de l'autre par des profondeurs variables.

Ces sondages ont pour objet de déterminer non seulement la configuration, mais aussi la nature du sol. Soigneusement relevés sur des cartes marines de grande échelle, ils sont des guides précieux pour la pose des câbles qui doivent éviter les fonds rocailleux, épouser la configuration du lit de la mer, choisir aux abords des côtes les passes les plus profondes où

ils sont moins exposés aux atteintes des ancres de navires, contourner les bas-fonds dans les parages fréquentés par les bateaux de pêche comme aux environs des bancs de Terre-Neuve, et fuir les courants glaciaires ailleurs que dans les grands fonds.

Quelque dispendieuses que soient ces opérations, les frais qu'elles déterminent sont rapidement et largement couverts par la sécurité qu'elles donnent et l'économie des réparations plus coûteuses encore qu'elles préviennent.

A cet égard, le fond de l'Atlantique nord commence à être bien connu et présente un des plus beaux lits de câble qu'on puisse trouver. On sait, par exemple, qu'à partir de la côte européenne le sol s'abaisse par une pente très douce jusqu'à 200 milles environ de la rive où la profondeur n'atteint pas 500 brasses (900 mètres); puis il tombe rapidement à 1,600 ou 1,700 brasses de fond (2,800 à 3,000 mètres) pour s'étendre ensuite à peu près uniformément jusqu'aux accores du banc de Terre-Neuve où il se relève lentement avant d'aboutir à l'île de Saint-Pierre-Miquelon; son plus grand défaut est la vaste étendue des bas-fonds des bancs de Terre-Neuve constamment sillonnés par les pêcheurs du monde entier. Quant au sol de grand fond lui-même, il est très heureusement formé de sable mélangé à de nombreux débris de coquilles.

De nouveaux sondages seraient cependant encore utilement faits et contribueraient certainement à assurer une meilleure voie et une constitution mieux appropriée des câbles qui doivent être construits en vue de la route à suivre.

Constitution d'un câble. — Un câble se compose essentiellement d'un fil *conducteur* entouré d'une matière isolante appelée *diélectrique*. En tant qu'instrument électrique destiné à assurer la communication entre deux points, ce sont là ses deux seuls éléments constitutifs et c'est en effet sous cette forme primitive qu'a été construit et immergé le premier câble sous-marin entre la France et l'Angleterre en 1850.

La cuirasse dont on revêt les câbles sous-marins n'a d'autre objet que de les protéger contre leurs nombreux ennemis et d'assurer leur résistance mécanique contre les efforts auxquels ils sont soumis dans la manutention ou pendant la pose et contre ceux auxquels ils peuvent être exposés après la pose.

De là deux parties bien distinctes dans un câble industriel : l'une électrique, qui lui donne la vie, et à ce titre fort proprement appelée *âme*, l'autre mécanique généralement nommée *armature*, mais à laquelle dans une étude théorique il est préférable de donner le nom d'*armure* pour éviter toute confusion, ainsi que nous le verrons tout à l'heure. Toutes les conditions relatives à ces deux parties du câble sont exactement calculées et prévues dans un cahier des charges appelé *spécification*.

Ame. — L'âme d'un câble se compose, ainsi que nous l'avons dit, du conducteur et du diélectrique.

Le conducteur, essentiellement métallique, est généralement en cuivre. Ce métal a été choisi comme offrant la moindre résistance électrique, ce qui, outre ses avantages immédiats, permet encore de réduire son diamètre, condition précieuse eu égard à la vitesse de transmission et du prix de revient; en raison également de sa grande souplesse et de son extrême ductilité.

Ces trois qualités, faible résistance électrique, souplesse et ductilité, sont solidaires de la pureté du métal.

Aussi choisit-on pour la construction des câbles sous-marins le cuivre le plus pur. La conductibilité des cuivres varie, suivant leur provenance, dans une large proportion qui atteint jusqu'à 50 pour 100 de celle du cuivre pur; on n'admet pas, dans les spécifications relatives à la construction des câbles, de fils dont la conductibilité soit inférieure à 90 pour 100 de celle de cuivre chimiquement pur.

A cet égard des essais sont faits chez le métallurgiste d'abord. Vous pouvez même voir, dans l'exposition de la maison Siemens et Halske de Berlin, une disposition spéciale et très heureuse du Pont de W. Thomson pour la détermination de la résistance du cuivre en barres.

Le cuivre est livré en fil aussi bien calibré que possible. A son arrivée à l'usine, en bottes de longueur fixe, il est pesé de manière à permettre de vérifier s'il répond exactement aux conditions de la spécification fixant son poids par mille marin. Chaque botte est ensuite éprouvée au point de vue de sa pureté et de sa résistance électrique sur deux échantillons pris à ses extrémités.

La mesure adoptée pour les épreuves aussi bien que pour toutes les opérations relatives aux câbles sous-marins est le mille marin dit *mille marin* télégraphique de 2,029 yards anglais, soit 1855^{m},284. — Cette unité diffère un peu du mille nautique qui ne comporte que 2027 2/3 yards et du mille de l'Amirauté encore un peu inférieur (2026 2/3 yards).

Le cuivre étant adopté comme métal du conducteur; ses qualités étant très soigneusement spécifiées et éprouvées ainsi que nous venons de le dire, la forme et les dimensions à donner à ce conducteur ne sont pas indifférentes.

La résistance du conducteur étant en raison inverse de sa section, on doit chercher *à priori* à lui donner un diamètre aussi fort que possible en tenant compte bien entendu du coût et du poids qui doivent en résulter dans l'établissement du câble. Dans ces conditions, un gros fil de cuivre serait la forme la plus simple et la plus rationnelle, comme offrant la plus grande section sous le moindre volume et, partant, sous la moindre surface, considération très importante comme nous le verrons. C'est ainsi qu'a été construit, en effet, le premier câble sous-marin de la Manche.

Mais depuis longtemps déjà on a presque entièrement abandonné le fil

solide unique pour le remplacer par un *toron* de fils multiples plus fins, tordus en cordelette.

Les principaux avantages de cette disposition donnée au conducteur sont d'abord d'en mieux assurer la continuité. Il est certain qu'en cas d'accident la rupture d'un fil unique détermine la cessation complète des communications, tandis que si l'un ou plusieurs des fils du toron viennent à se rompre, il n'y a pas solution complète de continuité, et la transmission s'effectue aussi bien par un seul des brins du toron tant que la section ne s'en trouve pas réduite sur une grande longueur. Le toron présente d'ailleurs une bien plus grande souplesse qui se prête infiniment mieux aux enroulements et aux nombreuses manutentions nécessités par la fabrication, l'emmagasinage, le chargement, la pose et le relevage du câble. Enfin, en cas de rupture du conducteur, un fil unique gros et plus résistant risque bien plus de se forcer un chemin à l'extérieur à travers le diélectrique, l'isolement et la continuité se trouvant ainsi détruits du même coup, grave inconvénient en ce sens que, s'il est relativement facile de localiser un défaut de continuité, il ne l'est pas toujours autant de déterminer le point où l'isolement fait défaut. La souplesse et la finesse de l'un des brins du toron rend au contraire cette éventualité moins dangereuse.

A côté de ces avantages, le toron présente cependant quelques inconvénients. On lui reproche notamment de laisser entre ses brins des interstices qui, en cas d'introduction de l'eau de mer par une fissure du diélectrique, lui offrent un canal par lequel elle s'écoule facilement sous l'influence de la pression ambiante, favorisant ainsi la destruction du conducteur sur une bien plus grande longueur. — Au point de vue électrique son plus grave inconvénient est de présenter, à diamètre égal, une surface extérieure plus considérable, nuisible, comme nous l'avons déjà signalé, à la rapidité des transmissions.

Plusieurs moyens ont été proposés et adoptés pour parer au premier de ces inconvénients. Nous aurons occasion de signaler tout à l'heure le plus généralement employé. — Quant à l'autre, tout compte fait, les nombreux avantages du toron l'emportant, son emploi à peu près exclusif est aujourd'hui admis au moins en ce qui concerne les longs câbles.

Le nombre des fils composant le toron est presque toujours de sept, dont un central servant d'âme à la corde ainsi constituée. Ce fil central est généralement d'un diamètre supérieur à celui des six fils extérieurs. Cette disposition, adoptée pour la première fois par MM. Siemens lors de la construction du câble Direct en 1875, est un moyen terme entre le fil unique et le toron à fils d'égal diamètre ; elle a donné jusqu'ici les meilleurs résultats.

Les derniers grands câbles de l'Atlantique sont ainsi formés d'un toron de 11 fils, dont un central de section supérieure aux dix fils extérieurs ; le poids du conducteur varie entre 350 et 400 livres anglaises (160 à 180 kil. environ) par mille marin.

La manufacture du toron est extrêmement simple. Elle s'exécute à l'aide d'une machine analogue aux machines à corder ou à faire la passementerie. Les bobines contenant le fil fin destiné à former le faisceau sont placées sur une table tournante mise en rotation autour du fil central. Des freins règlent convenablement le mouvement de chaque bobine et s'ajustent à la main jusqu'à ce qu'on sente une tension égale sur chaque fil qui s'écoule ainsi avec un effort égal et constant. Chaque longueur de fil est soudée à la suivante de façon qu'aucune extrémité libre ne puisse risquer de percer l'enveloppe isolante.

Le toron est ainsi manufacturé par longueurs de un ou deux milles qu'il s'agit ensuite de relier ensemble pour en former un tout parfaitement solide et continu.

Cette opération est un des détails les plus importants de la construction d'un câble sous-marin.

Vous avez pu voir dans l'exposition de MM. Siemens frères, de Londres, des spécimens des différentes phases de ce travail. Dans le cas d'un toron, on commence par souder à l'étain ou à l'argent, et sur une longueur de quelques centimètres, les extrémités des différents fils qu'on veut réunir, de manière à former sur cette longueur un seul fil solide. Cela fait, on taille en biseau ces deux extrémités et on les lime de façon à ce qu'elles s'ajustent exactement l'une sur l'autre. Ces deux extrémités rapprochées ont alors l'apparence d'un fil ordinaire. Puis, au moyen d'un petit étau à main, on maintient, appliquées l'une contre l'autre, les deux portions du fil; on les recouvre d'un fil de cuivre très fin enroulé en hélice à spires jointives comme les cordes basses d'un piano et on les soude sur toute la longueur de manière à en former une gaine. On pourrait alors considérer l'opération comme terminée, car la soudure, qui recouvre entièrement le fil fin, donne à l'ensemble la rigidité et la solidité nécessaires; cependant on préfère recouvrir encore la première gaine d'une seconde couche de fil fin, exactement semblable à la première, mais qu'on ne soude cette fois qu'aux deux extrémités. Le joint, ainsi définitivement constitué, est assurément moins souple et moins extensible que le reste du conducteur; mais si par un effort mécanique il venait à être disjoint, la dernière enveloppe de fil fin qui l'entoure en hélice souple, soudée seulement aux deux extrémités, maintiendrait la communication électrique, puisqu'elle s'étirerait simplement comme un ressort à boudin.

Ce mode de jointure a toujours donné jusqu'ici les meilleurs résultats et les câbles relevés ont fourni la preuve de ses excellentes qualités.

La matière isolante ou *diélectrique* la plus généralement employée dans la construction des câbles sous-marins est la *gutta-percha.*

La gutta-percha est, vous le savez, Messieurs, de découverte toute récente. Produit d'un arbre à gomme appelé « *Isonandra Gutta,* » son importation en Europe ne remonte qu'à 1844, époque à laquelle le docteur Montgommery en apprécia la valeur commerciale et en envoya à Londres

les premiers échantillons. Sans vouloir imiter cet orateur qui admirait la sagesse de la nature faisant passer les fleuves au milieu des grandes villes, je ne puis m'empêcher de reconnaître que son apparition dans le monde civilisé a coïncidé précisément avec le moment où l'emploi d'une semblable matière allait prendre une énorme extension, ou, si vous le voulez, que son importation fut le point de départ de la télégraphie sous-marine, qui s'imposait alors au développement des relations commerciales.

Cette gomme, récoltée en abondance dans l'Archipel malais, par des saignées plus ou moins intelligemment pratiquées par les indigènes à l'arbre d'où elle découle, est recueillie dans des moules en terre et expédiée en Europe sous des formes souvent bizarres, dont un spécimen est exposé dans l'une des vitrines de MM. Siemens frères, de Londres. Dans cet état brut elle est mélangée d'une grande quantité d'impuretés (écorces, bois, terre, pierres même), que la négligence ou la fraude y introduisent, et dont il faut la débarrasser par une épuration assez laborieuse avant de la rendre propre à l'usage auquel on la destine.

Cette préparation est assez compliquée ; elle s'exécute à l'aide de nombreuses machines et par une série d'opérations que je résumerai brièvement.

Les blocs de gutta-percha brute sont d'abord coupés en tranches fines au moyen d'un coupe-racines spécial. Les tranches ainsi obtenues sont purgées à la main des matières les plus grossières qu'elles contiennent : on les jette ensuite dans de l'eau maintenue suffisamment chaude pour la ramollir sans la fondre complètement ce qui affaiblirait ses qualités. La masse, devenue pâteuse, est placée dans un pétrin armé de dents, qui la déchirent en morceaux et facilitent la sortie des impuretés ; ainsi déchiquetée, elle est jetée dans l'eau froide ; la gutta-percha s'élève à la surface tandis que les impuretés, naturellement plus denses ou devenues telles par l'absorption de l'eau, tombent au fond du réservoir.

La densité de la gutta-percha est, en effet, un peu inférieure à celle de l'eau ; son poids spécifique est de 0,969.

Après ce nettoyage, la gutta-percha est transportée dans des récipients d'eau bouillante ; puis, lorsqu'elle a pris la consistance voulue, transférée dans des masticateurs ou cylindres cannelés qui la transforment en une pâte homogène et uniforme, tout en la débarrassant, par un filet d'eau froide, des matières étrangères qu'elle peut encore contenir. Toutes ces opérations sont généralement portées dans les usines à câble à un haut degré de soin et de perfection, dont dépendent en grande partie les qualités d'un câble.

Cette série d'opérations longues et minutieuses serait considérablement abrégée si l'on pouvait sans inconvénients amener la gutta-percha à l'état de fusion complète ; mais on ne saurait le faire sans nuire à ses qualités électriques.

Ces qualités sont de deux ordres et donnent lieu à deux séries

d'épreuves distinctes faites tout d'abord sur la pâte brute, ainsi préparée avant son application sur le conducteur.

L'une de ces séries est relative à son pouvoir isolant, c'est-à-dire à sa résistance spécifique qui est, comme vous savez, très considérable.

L'autre à sa capacité inductive, qui joue un grand rôle dans la télégraphie sous-marine et qui est, vous ne l'ignorez pas, la propriété qu'elle possède, comme tous les corps isolants, de produire plus ou moins l'induction.

Les divers échantillons ainsi obtenus sont rigoureusement soumis à cette double épreuve, et soigneusement numérotés et classés suivant leurs qualités qui sont essentiellement inhérentes à la nature même de la gomme, pour être ensuite employés de préférence dans tel ou tel cas, en raison des résultats à obtenir. Ces indications, strictement enregistrées, suivent mille par mille toutes les phases de la construction du câble, elles lui appartiennent et constituent en quelque sorte son état civil ou son casier judiciaire.

Le toron disposé ainsi que nous l'avons indiqué, et la pâte une fois préparée comme nous venons de le dire, on procède à la construction de l'âme, qui consiste à appliquer la gutta-percha sur le conducteur.

La pâte est placée dans des cylindres chauffés à la vapeur et munis de pistons. Ces cylindres aboutissent à une matrice ou moule, de forme conique, très ingénieusement disposée, et à travers laquelle la marche graduelle du piston force la gutta-percha à passer en se moulant sur le fil de cuivre qu'elle recouvre.

Ce fil est primitivement enduit d'une composition spéciale, généralement la « composition Chatterton, » mélange de gutta-percha, de goudron de Norvège et de résine, destinée à un double objet. Outre ses propriétés isolantes, elle a en effet l'avantage de remplir les interstices du toron de cuivre et d'empêcher, en cas de fissure du diélectrique, la pénétration de l'eau le long des fils du conducteur; de plus, elle cimente parfaitement entre elles les deux parties intégrantes de l'âme.

Le toron, enduit de cette composition, est maintenu à un degré de chaleur convenable, par une série de becs de gaz disposés sur son parcours.

La première couche de gutta-percha, une fois appliquée sur le fil, se trouve, à sa sortie du moule, en contact avec de l'eau, maintenue constamment froide, avant d'arriver aux bobines sur lesquelles s'enroule l'âme.

Chaque machine porte deux cylindres qui travaillent alternativement, l'un se chargeant de pâte, tandis que l'autre se décharge par le moule.

L'un des points essentiels de cette opération consiste à maintenir le conducteur parfaitement au centre de la gutta-percha. Ce résultat s'obtient au moyen de guides et d'une disposition particulière du moule.

Plusieurs couches sont successivement appliquées sur le fil suivant les spécifications, qui en comportent généralement trois ou quatre. Chaque

couche est d'ailleurs soudée à la précédente par un enduit de composition Chatterton.

Après le soin donné au choix et à la préparation des matériaux, les opérations successives, que nous venons de décrire et qui constituent, à proprement parler, la construction du câble, exigent le soin le plus minutieux. La pâte doit être maintenue au même degré de température convenable et appliquée avec un soin et une propreté excessifs, pour éviter la formation ou l'emprisonnement de bulles d'air, qui, sous les énormes pressions auxquelles le câble doit être soumis, ne manqueraient pas de se faire jour à travers la gutta-percha au grand détriment de l'isolement du câble. Pour parer à cette éventualité, l'âme ainsi fabriquée est soumise dans un autoclave à une pression considérable en rapport avec celle qu'elle est appelée à supporter au fond de l'eau, et qui par des profondeurs de 4,000 mètres peut atteindre 400 kilogrammes par centimètre carré. L'application prolongée d'un courant intense, à travers un galvanomètre, sur un câble ainsi soumis à pression et scellé à l'une de ses extrémités, force la plus petite faute à se manifester, et donne, après réparation, la sécurité la plus absolue sur la bonne condition de l'âme.

L'âme sortant des divers appareils qui servent à la former passe d'ailleurs sous les yeux et dans les mains d'ouvriers habiles et soigneux, qui l'examinent scrupuleusement, égalisent avec une grande dextérité les inégalités qui auraient pu se produire, et ne laissent passer aucun point défectueux ou même douteux sans y remédier immédiatement. L'introduction du moindre débris métallique pouvant percer la gutta-percha et mettre le conducteur en communication avec l'extérieur est surtout l'objet des recherches les plus minutieuses.

L'âme fabriquée et vérifiée ainsi que nous venons de le dire est maintenue constamment dans l'eau où elle paraît se conserver indéfiniment sans aucune altération de ses propriétés et qualités. Des fragments du premier câble de la Manche (1850), que l'on retrouve aujourd'hui encore de temps à autre, ont été l'objet d'épreuves très attentives, et on y a toujours retrouvé les mêmes qualités après trente ans de séjour sous l'eau. L'air et le soleil l'altèrent au contraire promptement, et cette oxydation, contre laquelle il est très important de la protéger, a été l'une des causes les plus fréquentes des accidents survenus aux premiers câbles sous-marins.

La réunion de deux longueurs ou sections d'âme, généralement fabriquée en longueurs d'un mille, est une des plus délicates opérations de la construction. Elle se fait à la main et exige une habileté et un soin tout particuliers, qui rendent très précieux et très rares les bons *Jointers*.

On commence par dénuder le conducteur aux deux extrémités qu'on veut joindre, et on en effectue la soudure ainsi que j'ai eu l'honneur de vous l'indiquer. On relève généralement en bourrelet la gutta-percha sans la couper, et, après avoir soigneusement nettoyé la soudure pour n'y laisser aucune impureté, on la recouvre entièrement d'une première couche de composition Chatterton. On procède alors, par une série de ramol-

lissements successifs de la gutta-percha, convenablement ramenée sur le conducteur, étendue et aplanie entre les doigts, grâce à la consistance plastique que lui donne la flamme d'une lampe habilement dirigée, à la reconstitution d'une première couche, que l'on enveloppe d'une feuille mince de gutta-percha, soudée par adhérence des bords vifs. On aplanit la suture au fer chaud, et on continue à ramener de la même manière les différentes couches de l'enveloppe, qu'un ouvrier adroit arrive à reconstituer sans laisser extérieurement la trace visible du joint.

L'adhérence parfaite des différentes parties du joint est en outre assurée par l'interposition de couches de composition Chatterton. Le malaxage que subit la matière convenablement ramollie en chasse toutes les bulles d'air, et arrive à former du tout une pâte homogène, qui assure la parfaite continuité de l'âme.

Les joints sont d'ailleurs l'objet d'épreuves tout à fait spéciales et d'une extrême rigueur auxquelles ils doivent satisfaire avant d'être admis dans l'âme; ils sont de plus affectés d'une marque particulière et d'un numéro d'ordre, qui permet toujours d'en retrouver la position exacte ainsi que l'auteur.

Depuis l'instant où elle a été terminée et acceptée, jusqu'au moment où elle est déposée au fond de la mer sous forme de câble achevé, l'âme, maintenue dans l'eau, est soumise à des épreuves continuelles, qui permettent d'en vérifier constamment les qualités électriques.

Armure. — L'armure destinée à protéger l'âme d'un câble varie avec les dangers auxquels il est exposé, et, par suite, avec les profondeurs dans lesquelles il doit être immergé.

Son premier revêtement n'est qu'un rembourrage, une sorte de matelas interposé entre l'âme et les fils d'acier ou de fer qui constituent réellement sa cuirasse.

Ce revêtement est généralement formé de filin de chanvre fortement imprégné d'une dissolution de tanin destinée à le conserver sous l'eau; deux couches successives de chanvre ainsi préparé sont enroulées en sens inverse.

On employait autrefois le goudron comme substance protectrice du chanvre; mais on a reconnu depuis que cette matière isolante, en pénétrant aisément dans les fissures qui peuvent, malgré toutes les précautions prises, exister dans la gutta-percha, masquait les fautes avant l'immersion pour arriver ensuite, mais trop tardivement, à les laisser apparaître à la suite d'une plus ou moins lente dissolution. — On a donc au contraire préféré une substance conductrice, au moins pour la partie avoisinant la gutta-percha, en réservant le goudron pour la seconde enveloppe de chanvre en contact avec les fils de fer qui se trouvent ainsi mis eux-mêmes à l'abri de toute cause d'oxydation.

La superposition de ces deux enveloppes bien qu'enroulées en sens con-

traire se fait d'une seule et même opération dans des machines très simples analogues à celles qu'emploient les cordiers.

L'application de ce filin se fait avec un pas d'hélice assez allongé et sous une certaine tension de manière à ajouter sa résistance mécanique à celle du fer extérieur. Il faut toutefois, en raison de la nature plastique de la gutta-percha, éviter d'appliquer le filin avec un trop grand effort sur l'âme. Cette opération s'exécute d'ailleurs à l'état humide, de même que le câble est constamment maintenu dans l'eau pendant toute les phases ultérieures de sa fabrication, de manière à faciliter la recherche des fautes tout en conservant la gutta-percha.

L'armure en fil de fer, qui vient reposer sur ce coussin, s'ajuste ici encore à l'aide de machines à corder analogues aux précédentes; leur puissance seule diffère. Un guide central protège l'âme contre toute pression inégale des fils métalliques. Dans un câble bien fait, le cordage central, formant l'âme, ne doit subir aucune pression latérale des fils de fer arc-boutés autour de lui. Toutes les machines employées déposent les fils de fer sans aucune torsion, de même que cela se passe dans la fabrication des cordages métalliques.

La disposition des fils jointifs en hélices tangents les unes aux autres sur toute leur longueur offre d'ailleurs l'avantage de constituer un fourreau qui ne s'allonge pour ainsi dire pas à la traction et maintient l'âme parfaitement intacte.

Les qualités mécaniques de ces fils de fer ou d'acier font l'objet d'une spécification très précise, ainsi que leur nombre et leur diamètre, le tout étant calculé en raison des efforts que le câble est appelé à supporter, en raison de la profondeur d'immersion, dans les opérations de pose et de relèvement.

Le grand câble de mer profonde du câble français est ainsi armé de dix-huit fils d'acier jointifs; vous pouvez en voir, Messieurs, des spécimens dans l'exposition anglaise de MM. Siemens frères.

Le nombre et les dimensions de ces fils varient de manière à donner au câble une résistance mécanique de plus en plus grande à mesure qu'on s'approche des côtes où les risques sont plus grands.

Tous les fils de fer sont galvanisés pour les protéger contre la rouille.

Les câbles ainsi bardés de fer sont finalement recouverts de deux couches inverses et successives de chanvre de Manille ou de Russie mélangé à de la poix minérale ou de l'asphalte combiné avec du silicate de chaux qui lui donne la consistance suffisante.

Le câble recouvert de bitume prend une forme arrondie en passant à travers une matrice qui rejette l'excédent de matière.

Il est enfin, pour les manutentions à sec, recouvert d'une couche de craie maintenue en suspension dans l'eau de manière à prévenir l'adhérence entre elles des différentes spires.

Les câbles côtiers proprement dits, sont encore considérablement renforcés par une nouvelle carapace de gros fils de fer galvanisés tordus trois

à trois et disposés en douze torons en hélice qui les rendent beaucoup plus maniables que des fils massifs de section équivalente.

Telles sont, Messieurs, brièvement résumées, les diverses phases que subit la construction matérielle d'un câble. Joignez à cela les différents genres d'épreuves électriques et mécaniques qu'il subit d'un bout à l'autre de sa fabrication, tant dans ses parties que dans son ensemble, et vous vous rendrez compte de l'importance d'une opération de ce genre, surtout quand il s'agit d'un grand câble transatlantique comportant une longueur de 4,500 à 5,000 kilomètres.

Ce n'est cependant qu'une première partie de l'opération dont la seconde, plus difficile encore et plus délicate, est l'embarquement et la pose du câble.

Embarquement et pose. — L'embarquement d'un câble est une opération relativement simple, les usines de construction étant toujours situées au bord de la mer et munies, ainsi que les navires destinés à le recevoir, d'appareils spéciaux et très perfectionnés pour en faciliter les détails d'exécution.

Le câble sortant des cuves de l'usine est amené à bord au moyen de locomobiles, voire même de machines dynamo-électriques, et sur des poulies placées le long d'un cordage tendu entre l'usine et le navire. Il est lavé dans des cuves spéciales disposées dans les flancs du navire et soigneusement assujetties. Au centre de ces cuves se trouve un cône creux autour duquel le câble est enroulé en spirale à partir du centre vers la circonférence ; la première couche ainsi terminée, le câble revient radialement vers le centre où recommence la seconde couche, et toutes se succèdent ainsi de la même manière, les saillies radiales étant alternées de façon à donner à l'ensemble une régularité aussi grande que possible en évitant tout mélange des spires entre elles.

Le déroulement du câble en bon ordre pendant la pose est d'ailleurs facilité par l'emploi de la *crinoline* ou succession de cercles en fer concentriques reliés entre eux, qui viennent s'appliquer sur le câble et l'obligent à suivre une marche régulière dans laquelle il est en outre guidé jusqu'à son arrivée à la machine d'émission.

Je n'entrerai pas dans la description d'un navire destiné à la pose ou à la réparation des câbles. Vous avez tous vu un premier modèle du *Faraday*, dont la machinerie s'est considérablement modifiée depuis sa construction. Les navires de ce genre sont construits de manière à marcher aussi facilement en arrière qu'en avant sans être obligés de virer.

Toute la machinerie d'une puissance considérable est proportionnée à la grandeur des efforts auxquels elle est appelée à résister ou à satisfaire. Elle s'est successivement améliorée depuis la pose des premiers câbles sous-marins et répond aujourd'hui à tous les besoins comme à toutes les éventualités qui peuvent se présenter. Elle se compose essentiellement de tam-

bours d'enroulement et de freins destinés à régler la vitesse d'immersion, et dans le détail de construction desquels vous m'approuverez certainement de ne pas entrer.

Le principal instrument, placé sous le contrôle incessant de l'ingénieur dirigeant l'expédition et qu'il ne perd pas de vue, est le *dynamomètre.*

Le principe de ce dynanomètre est très simple. Il se compose essentiellement d'une poulie verticale, convenablement chargée, sous la gorge de laquelle se déroule le câble avant d'arriver à la poulie d'arrière par laquelle se fait l'immersion. La masse à laquelle est fixé l'axe de la poulie du dynanomètre glisse entre deux montants verticaux, s'élevant ou s'abaissant suivant la tension plus ou moins grande du câble qui fait équilibre à son poids. Une échelle préalablement construite sur les montants permet à l'œil de suivre graduellement les efforts de tension qui dominent absolument la vitesse d'immersion.

Le poids dans l'eau des différentes sections du câble étant connu, ainsi que la route et les principaux accidents du sol, on règle l'émission ainsi que la marche du navire suivant les indications du dynamomètre, laissant filer le câble quand la tension augmente, et faisant au besoin marche en arrière ; le retardant au contraire quand elle diminue.

Les bouts côtiers du câble, solidement amarrés au rivage, sont d'abord posés, suivant la nature de la côte, soit à bras d'hommes, soit à l'aide de chalands ou de radeaux, jusqu'au point où le navire stationne dans les limites de la profondeur qui lui est nécessaire. Une fois cette opération terminée, avec ou sans épissure suivant que la pose a lieu du rivage vers le navire ou du navire vers le rivage, le navire lève l'ancre et file le câble par l'arrière sans s'arrêter tant qu'il ne se présente pas d'accident.

Pendant ce temps le navire est en communication électrique permanente avec le rivage où se trouve installé un poste dont la seule mission est de répondre aux signaux du navire sans avoir à lui poser aucune question.

Des méthodes spéciales permettent de contrôler ainsi, sans interruption, les différentes qualités du câble sur lequel les épreuves n'ont pas cessé pendant l'embarquement.

S'il ne survient aucun événement de nature à troubler l'opération, elle continue ainsi nuit et jour tant que le navire possède du câble à bord.

Si tout le câble a pu être chargé en une seule fois, la pose se termine comme elle a commencé par l'immersion du bout côtier extrême.

Mais tel n'est pas généralement le cas pour les grands câbles de l'Atlantique dont le poids est trop considérable pour une seule expédition.

Le « Faraday » est le plus fort navire spécialement aménagé pour la pose des câbles ; il jauge près de 5,000 tonneaux, et effectue en ce moment la pose de son quatrième câble transatlantique. Malgré son fort tonnage, il ne peut faire qu'en trois fois une immersion de ce genre. Dans ce cas, il prend d'abord la section côtière et intermédiaire aboutissant à l'Europe ; il en effectue la pose, scelle son extrémité quand il est arrivé à bout de câble, l'attache à une bouée, et, après en avoir exactement relevé la position,

revient en Angleterre prendre le câble principal, le plus long, mais le plus léger. On retourne alors au point où a été laissée la bouée, on fait une épissure et l'on continue à filer le câble à bord jusqu'à épuisement, pour revenir encore, comme précédemment, prendre la dernière section que l'on pose alors jusqu'à terre.

On doit, autant que possible, faire épouser au câble la configuration du sol, tout en lui laissant un certain mou nécessaire en cas de relevage, et la grande difficulté est d'arriver à ce qu'il repose ainsi au fond de l'eau sans tension et sans trop de mou ou slack qui déterminerait la formation de *coques* très préjudiciables à sa conservation. Ce slack est de 5 à 6 pour 100 environ.

Ces opérations gigantesques s'exécutent aujourd'hui, Messieurs, avec la plus grande sécurité et sur des données de succès à peu près certaines. Il est toutefois de nombreux dangers auxquels les câbles sont exposés, soit pendant, soit après la pose. Il en résulte des accidents encore fréquents mais dont le remède nous offre des exemples merveilleux de la puissance de l'intelligence humaine allant arracher au sein des mers à des distances et par des profondeurs énormes des secrets jusqu'alors inconnus.

Dangers. — Causes d'accidents. — Il semble, au premier abord, qu'un câble qui repose au fond de la mer doive être à l'abri de toute vicissitude et de toute cause de détérioration. Il n'en est malheureusement pas ainsi et les accidents auxquels sont exposés les câbles immergés sont très nombreux.

Nous laissons de côté bien entendu ceux inhérents à un vice de construction auquel on peut et doit toujours parer avant ou pendant la pose. Un câble parfait, et on ne doit jamais l'accepter qu'exempt de tout défaut, peut, de ce chef, durer indéfiniment. Le moindre défaut, au contraire, laissé dans un câble, ne peut que s'aggraver et aboutit fatalement tôt ou tard à une interruption des communications.

De là, la nécessité des épreuves incessantes auxquelles est soumis le câble depuis l'instant de sa formation jusques après sa pose.

Mais en dehors de cela, les causes accidentelles destructrices des câbles peuvent se classer en trois catégories.

D'abord les *Causes physiques*, telles que bancs de glaces ou *Ice-bergs* surtout pour les câbles de l'Atlantique. Ces bancs qui émergent parfois de 100 mètres au-dessus du niveau de l'eau arrivent souvent à atteindre une profondeur de 5 à 600 mètres, en raison des matières étrangères qui viennent augmenter la densité de la partie submergée; et lorsque dans ces conditions ils touchent le fond de la mer, ils détruisent tout sur leur passage. C'est ainsi qu'on a vu un jour les trois câbles existant alors dans l'Atlantique coupés par une même descente de glaces qui rompit simultanément toutes les communications entre les deux mondes.

Nous citerons encore les *frottements sur les roches*, cause fréquente d'accidents soit sur les côtes dans les parties agitées par les vagues et marées, soit à des profondeurs plus grandes par l'effet de courants sous-marins. — Différents moyens peuvent être employés pour parer aux dangers des côtes; dans les grands fonds la seule précaution à prendre à cet effet est de faire épouser le plus possible au câble les sinuosités du sol afin d'éviter la formation de toute chaînette dans le vide et par suite les points ou angles de suspension, cause à peu près fatale de communication à la terre, sinon de rupture.

Les bancs de corail, les tremblements de terre, les éboulements sous-marins appartiennent encore à la même catégorie.

Viennent ensuite les *Animaux destructeurs* : et d'abord les annélides ou les petits crustacés dont, contre toute attente, on a constaté l'existence par des profondeurs de 2 et 3000 mètres. Ces animaux détruisent le chanvre ou la gutta-percha, ou se logent dans cette dernière établissant parfois ainsi une communication à la terre. — Les requins, les scies ou espadons, les baleines amènent aussi des désordres de différents genres et des plus bizarres.

Enfin parmi les *Causes mécaniques accidentelles*, nous citerons les ancres et engins de pêche qui viennent, dans les bas-fonds et jusqu'à 200 mètres de profondeur, détruire les câbles soit en les coupant par de gros temps, soit en leur faisant des blessures qui paralysent leur travail.

Le principal remède à ces différents risques est le temps, à l'aide duquel le câble ou s'enfonce dans le sol, ou se revêt de végétations calcaires et de coquilles qui lui servent de cuirasse. Aussi les câbles sont-ils bien plus exposés aux accidents dans les premières années de leur existence qu'au bout d'un certain temps de pose.

Réparations. — La réparation des câbles sous-marins comporte de nombreuses opérations bien plus compliquées que leur immersion : elle résume les plus beaux succès de l'intelligence humaine luttant contre les forces les plus puissantes de la nature; et, malgré les dangers qu'elle présente, elle est devenue aujourd'hui, grâce aux progrès de tous ordres de la science, chose assez naturelle pour passer la plupart du temps inaperçue.

La première opération nécessaire quand un accident survient, *quand une faute se déclare*, suivant l'expression technique, consiste à en déterminer la position exacte, à la *localiser*.

Les épreuves faites journellement sur les câbles à heures déterminées, aussi bien que les indications fournies par le journal de bord lors de la pose et les cartes très détaillées et très précises qu'on en déduit, servent de point de départ à cette délicate opération. — Les épreuves que l'on fait ensuite au triple point de vue de la résistance du conducteur, de la résistance d'isolement du diélectrique et de la capacité électro-statique du

câble, permettent de déterminer avec une précision remarquable la distance électrique et géographique de la faute.

La plupart des Compagnies télégraphiques sous-marines possèdent des navires spécialement agencés pour ce genre d'opérations et elles les maintiennent ordinairement dans les parages où les accidents se produisent le plus fréquemment, l'importance des intérêts en jeu exigeant généralement une prompte réparation, et quelques heures de retard suffisant dans bien des cas pour compromettre ou retarder de plusieurs jours, de quelques semaines parfois, le succès de l'entreprise.

La flotte actuelle des câbles se compose de 25 navires jaugeant ensemble 40,000 tonneaux environ et appartenant à diverses Compagnies télégraphiques ou de construction.

Une fois la faute localisée, le navire porteur d'une certaine quantité de câbles des types présumés nécessaires, se rend à l'endroit désigné et relève exactement la position indiquée que l'on marque en mouillant comme centre d'opérations une bouée à pavillon analogue à celle qui domine l'exposition des constructeurs que j'ai déjà nommés.

Ce navire est d'ailleurs muni à l'avant, par lequel se fait le relevage, d'une série d'appareils, poulies, treuils, freins, dynamomètre, analogues à ceux qui servent à l'immersion, et actionnés par une machine à vapeur spéciale dont la force, à bord du « Faraday » n'est pas inférieure à trente chevaux.

Le navire ayant pris position pour prendre le câble par le travers, le *Grappin*, dont un spécimen est exposé par MM. Siemens frères, est alors mis à la mer, suspendu à une chaîne, bouclée elle-même à un cordage formé de torons d'acier et de chanvre qui atteint jusqu'à 45 ou 50 millimètres de diamètre pour les grandes opérations, et le navire, s'aidant au besoin du vent et de la marée court par le travers, cherchant à *crocher* le câble.

Les indications du dynamomètre permettent de reconnaître que le grappin touche le fond et que le câble est croché. Favorisée par un beau temps, cette opération se fait souvent en quelques heures. Mais il arrive fréquemment que par les brouillards et de gros temps, le navire, ne pouvant faire le point ou se diriger, sous peine de dommages pour le câble ou pour lui-même, est obligé d'attendre pendant des jours entiers une accalmie qui lui permette de travailler utilement.

Quand le câble est ainsi *croché*, on le ramène à bord au moyen des appareils de relevage dont nous avons parlé et avec mille précautions plus intelligentes les unes que les autres pour éviter d'exercer sur lui de trop fortes tensions et de le rompre. C'est en vue de cette opération qu'on lui laisse un certain mou sans lequel il serait absolument impossible de le relever. Suivant ce mou, on l'amène à bord soit en une seule fois, soit en plusieurs étapes à chacune desquelles on le fixe à des bouées par sections successives.

D'autres fois le câble est directement coupé au fond de l'eau par un

grappin spécial qui en saisit en même temps les deux extrémités ou l'une d'elles.

S'il y a rupture du câble, il faut avoir soin de ne pas le crocher trop près de la rupture sous peine de le voir abandonner le grappin sous le poids beaucoup plus considérable de la partie saine. Là encore le dynamomètre fournit de précieuses indications, et l'on est souvent, dans ce cas, obligé de se reprendre en plusieurs fois.

Quand l'une des extrémités est relevée, on la scelle pour empêcher toute action nouvelle de l'eau de mer, après avoir toutefois échangé des signaux avec la station correspondante; on y fixe une bouée et on le rejette à la mer pour aller rechercher l'autre extrémité. Cette seconde partie étant ramenée et éprouvée par signaux transmis à l'autre poste, on y fait la première épissure avec le câble à bord, et l'on recommence à filer vers la première bouée où, à la suite des épreuves qui n'ont pas cessé depuis le rétablissement de la communication entre le navire et la terre, on fait l'épissure finale et l'on rend à la mer ce précieux engin généralement augmenté d'une certaine longueur soigneusement notée en vue des épreuves ultérieures.

Quand le câble n'est pas rompu, on le coupe à bord du navire, on abandonne à une bouée l'une des extrémités et l'on opère successivement de l'une à l'autre comme précédemment.

Durant tout le temps de cette opération, l'état de la mer et de l'atmosphère joue un grand rôle au point de vue de son prompt achèvement. Mais les détails en eux-mêmes, quand on a affaire à un câble solidement construit et non encore endommagé par la vétusté, ne comportent pas une durée de plus de vingt-quatre heures.

Épreuves. — J'arriverai maintenant, Messieurs, par un enchaînement logique des idées dont vous avez bien voulu suivre le développement progressif, à vous entretenir des épreuves diverses et continues que l'on fait subir pendant toute leur existence aux câbles sous-marins. Je voudrais, en raison de l'immense intérêt qu'elles présentent au point de vue scientifique, vous parler de ces méthodes, véritables chefs-d'œuvre de l'esprit humain, qui suffiraient à immortaliser les noms des Thomson, des Varley, des Willoughby Smith, des Clarke, des Sabine, etc... Mais plusieurs conférences aussi longues que celles-ci ne suffiraient pas à vous les faire connaître.

Sans abuser de votre sympathique attention, je ne puis cependant résister au plaisir de vous en exposer une, remarquable entre toutes et intimement liée aux phénomènes de polarisation à l'ordre du jour en ce moment.

Sur les longs câbles sous-marins la transmission s'opère par l'émission successive de courants positifs et négatifs. Quand un câble est parfait, l'application du courant cuivre ou du courant zinc de la pile est absolument

indifférente. Il n'en est pas de même quand un câble est défectueux : en cas de défaut d'isolement, les courants positifs ont en effet une tendance à amoindrir la faute en revêtant d'une couche d'oxyde, mauvais conducteur, la portion du cuivre exposée à l'eau de mer; cette oxydation permanente arrive, il est vrai, à ronger peu à peu le conducteur jusqu'à rupture complète; mais, en attendant, la transmission se faisant également bien tant qu'il reste une fibre de cuivre qui maintient la communication, la faute se trouve longtemps dissimulée. — Les courants négatifs, au contraire, réducteurs par excellence, décapent continuellement la surface du cuivre exposée à l'action de l'eau, décèlent la faute et tendent à l'augmenter.

On doit donc dans toute épreuve sérieuse, soit pendant, soit après la construction et la pose, mettre de préférence le courant zinc sur le câble et le cuivre à la terre.

Quand un câble est complètement rompu et le conducteur mis à découvert avec contact parfait à la terre, la localisation de la rupture est généralement facile; la résistance du conducteur se trouve réduite dans une proportion qui, exprimée en fonction de la résistance, parfaitement connue, du câble, par mille, donne en milles marins la distance de la faute.

Il n'en est pas de même quand il s'agit d'un petit trou, d'une fissure ou d'une gerçure dans le diélectrique, ou d'un contact imparfait avec la terre. Il se produit ici, sous l'influence des courants alternativement positifs et négatifs, des effets d'oxydation et de désoxydation ; l'oxydation donne à la faute elle-même une résistance propre, inconnue et variable, qui vient s'ajouter à la résistance du conducteur éprouvé et fausser les conclusions à tirer des indications du galvanomètre. Abandonnée à elle-même la faute, sous l'action de l'eau de mer et du voisinage de l'armature, constitue un véritable élément dit *pile de câble* et développe dans le câble un courant positif dit *courant de câble*, dont le galvanomètre d'épreuves révèle l'écoulement à la terre.

Dans cet état d'incertitude, on est amené, pour localiser la faute, à la *forcer*, c'est-à-dire à l'agrandir pour annuler ces perturbations anormales.

C'est alors qu'on emploie la *méthode de Lumsden* à laquelle je faisais allusion tout à l'heure et qui utilise précisément ces effets de polarisation.

On commence par appliquer sur le câble un courant positif intense et prolongé, qui élargit la faute et recouvre le conducteur d'une couche notable de chlorure. Il en résulte une polarisation qui, après enlèvement du courant de la pile d'épreuve, détermine la déviation du galvanomètre dans un sens. On applique alors une succession de courants zinc de courte durée, dont chaque émission réduit une portion du chlorure formé ; la naissance, à la faute, des bulles d'hydrogène qui résultent de ce courant contribue encore par son action mécanique à détacher le chlorure. —

Pendant ce temps, on suit sur le galvanomètre la diminution de la déviation première successivement réduite par cette polarisation contraire, en même temps qu'on note sur un pont de Wheatstone l'affaiblissement progressif de la résistance.

On continue la même opération jusqu'au moment où le chlorure, ayant complètement disparu, fait place à un dégagement exclusif d'hydrogène. A cet instant, la polarisation change brusquement de signe, ainsi que la déviation du galvanomètre. C'est cet instant très court, où, les actions opposées de l'hydrogène et du chlorure se balançant en apparence, la pile du câble devient inerte et le conducteur est dépolarisé, c'est cet instant, dis-je, qu'il faut saisir pour prendre les indications du pont de Wheatstone, la résistance apparente et la résistance réelle étant alors identiques.

Cette électrolyse à des distances de deux et trois mille kilomètres et par des profondeurs de plusieurs milliers de mètres, cette mise à profit d'un phénomène aussi gênant que nuisible ne vous semblent-elles pas, Messieurs, rentrer dans le domaine du merveilleux. Et, tout en ne vous indiquant qu'une seule de ces épreuves, ne suis-je pas fondé à revendiquer une admiration méritée pour les hommes de génie, qui ont su plier la science à la solution de problèmes aussi difficiles.

Avant de passer à un dernier ordre d'idées, je n'ajouterai qu'un mot sur ce chapitre : c'est que, les résistances de conductibilité et d'isolement variant avec la température, toutes ces épreuves sont faites ou rapportées à une température-étalon adoptée une fois pour toutes en télégraphie sous-marine, et qui est celle de 24 degrés centigrades. Elle a été choisie comme étant la plus élevée à laquelle on puisse porter la gutta-percha sans la ramollir et comme suffisamment défavorable à sa résistance d'isolement.

Ces variations de résistance permettent même de déterminer, au moyen d'un câble en bon état dont les constantes sont bien connues, la température du fond de la mer.

Toutes ces épreuves sont d'ailleurs d'une extrême délicatesse et exigent non seulement une grande habileté d'opérateur, mais un esprit synthétique capable de former un ensemble de tous les phénomènes observés.

J'aurai fini, Messieurs, quand je vous aurai dit quelques mots du mode de fonctionnement des câbles sous-marins, et donné quelques valeurs numériques.

Fonctionnement. — Tel que nous l'avons vu constitué, un câble est, j'ai à peine besoin de vous le dire, un véritable condensateur, une bouteille de Leyde, dont le *conducteur* forme l'*armature intérieure* et l'eau, le sol ou l'armure, *l'armature extérieure.*

Aussi y rencontrons-nous tous les phénomènes d'induction, de condensation et d'absorption, inhérents aux condensateurs et qui sont une des grandes difficultés de la transmission électrique sous-marine.

Comme tout condensateur, un câble a une capacité électro-statique spécifique qui lui est propre. Cette capacité est le pouvoir avec lequel il retient, par mille marin, une charge statique. Cette charge étant prise sur le courant qui le traverse, on conçoit que la vitesse de transmission soit en raison inverse de la capacité électro-statique du câble.

La capacité totale de l'un des câbles de l'Atlantique, dont la longueur est de 4,000 kilomètres environ, représente celle d'une batterie électrique dont la surface totale aurait 84,000 mètres carrés, ou d'un condensateur à feuilles d'étain dont l'étendue serait de 11,080 mètres carrés. Ce serait celle d'une sphère isolée, dont la dimension serait à peu près celle de la terre.

La valeur commerciale d'un câble dépendant du travail qu'il est capable d'effectuer, c'est-à-dire de sa vitesse de transmission ou du nombre de mots qu'il peut transmettre dans un temps donné, tous les efforts des ingénieurs doivent tendre à augmenter cette vitesse.

D'une manière générale, on peut dire que la vitesse de transmission est inversement proportionnelle à la résistance du conducteur, à la capacité électro-statique du câble et au carré de sa longueur.

La longueur étant fixée par la route à suivre, on n'a à s'occuper que des deux autres éléments : la résistance du conducteur fonction inverse de son diamètre, et la capacité qui, pour un diélectrique déterminé, est une certaine fonction du rapport des diamètres du conducteur et de l'âme.

Il en résulte, pour une âme donnée, un rapport mathématique entre ces deux diamètres, qui fournit la vitesse *maxima*. Mais, dans la pratique et pour éviter certains accidents qu'amènerait ce rapport théorique, on est obligé de diminuer un peu le diamètre du conducteur, inconvénient que l'on compense en exigeant une pureté de métal aussi grande que possible.

Le désavantage que nous avons signalé dans l'emploi du toron résulte précisément de ce que, à section égale, son diamètre est supérieur d'un quart environ à celui du fil unique.

Il est un autre phénomène qui joue un grand rôle dans la télégraphie sous-marine et dans les épreuves auxquelles elle donne lieu; je veux parler de l'*électrification* ou *absorption* bien différente de la condensation. Sans vous le décrire, je me bornerai à vous rappeler, que nous le rencontrons dans la bouteille de Leyde, où il se manifeste sous la forme bien connue des charges résiduelles.

Dans les câbles, il a pour effet de retarder la transmission et d'augmenter en apparence la résistance d'isolement. Observé pour la première fois par M. Willoughby Smith pendant la construction du câble transatlantique de 1858, il obligé à adopter dans la pratique un intervalle de temps type de charge et de décharge pour les épreuves d'isolement.

Il résulte de ces différents phénomènes qu'un signal émis d'Europe, par exemple, n'arrive pas instantanément au delà de l'Atlantique. On évalue à $\frac{12}{100}$ de seconde le temps qu'il met à y parvenir, et encore ne le voit-on pas se manifester aussi rapidement. Son observation est en effet dominée par la sensibilité de l'appareil destiné à le recevoir. L'instrument le plus délicat ne donne rien au bout de $\frac{2}{10}$ de seconde.

Le courant n'arrive pas d'ailleurs tout d'une pièce, comme un boulet; mais il augmente graduellement jusqu'à un maximum, de même qu'il diminue progressivement, en s'écoulant pendant un temps égal à celui qu'il a mis pour produire son effet maximum.

Après $\frac{4}{10}$ de seconde, il n'atteint que 7 pour 100 environ de son intensité maximum; il arrive au bout de 1″ à 50 pour 100 environ de son maximum auquel il ne parvient que 3″ à peu près après l'émission.

En supposant qu'on installe un appareil Morse assez délicat à l'extrémité de la ligne, voici les résultats qu'on obtiendrait suivant les cas:

En isolant le câble entre chaque signal au poste d'émission, ce qui oblige le courant à s'écouler tout entier par le poste de réception, une série de lignes donneraient une seule ligne, l'écoulement de la fin du premier signal se confondant avec l'arrivée du second, et ainsi de suite.

———— ———— ————

————————————————

Fig. 1.

Mais si l'on met le câble à la terre entre chaque signal, le courant pouvant s'écouler par les deux extrémités, une portion seulement du courant émis arrive au poste de réception, chaque ligne se prolonge moins et se marque distinctement au poste récepteur.

———— ———— ————

————— ————— —————

Fig. 2.

Enfin, si l'on renverse le courant dans l'intervalle des signaux, le courant inverse émis en second lieu rattrape en quelque sorte le premier courant, neutralise une partie de la charge restant encore dans le câble,

et diminue encore sa durée d'écoulement, espaçant ainsi davantage les lignes au poste récepteur et augmentant la vitesse de transmission :



Fig. 3.

On obtient ainsi une série d'ondes plus ou moins allongées qui se succèdent dans le cable et forment les signaux.

Si nous voulons représenter par une courbe la loi d'accroissement des signaux reçus qui est la même pour toutes les lignes, nous obtenons la courbe suivante :

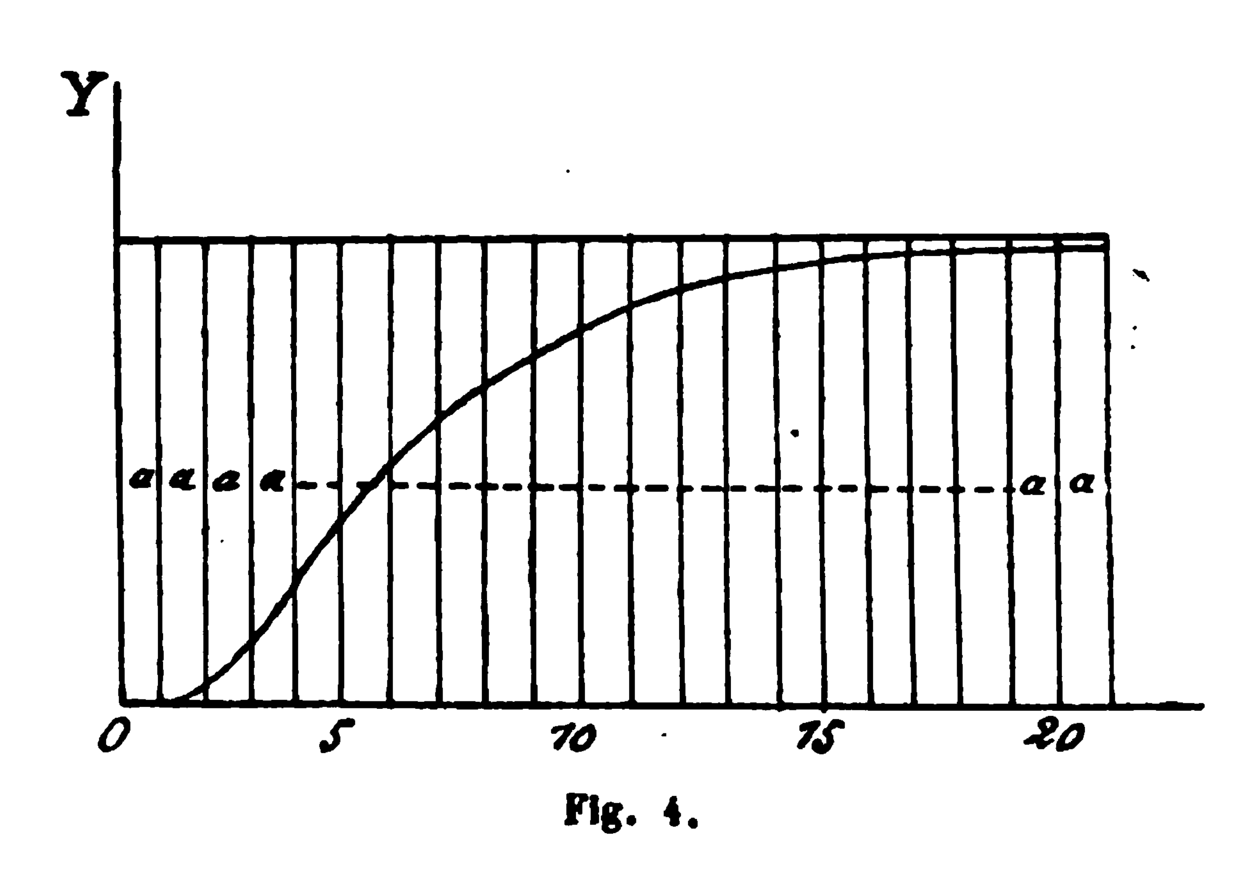


Fig. 4.

dans laquelle les ordonnées représentent les forces successives du courant, la distance O Y représentant le maximum auquel il puisse arriver quand l'état permanent est établi, et les abcisses mesurent des intervalles de temps à partir de l'application du courant au poste d'émission, en fonction d'une unité arbitraire α, différente suivant les câbles mais constante pour un même câble, et qui se détermine mathématiquement.

En fonction de α les courbes d'arrivée pour le courant reçu de toutes les lignes sont identiques et la même courbe montre la décroissance du courant au poste récepteur quand la ligne est mise à la terre au poste d'émission. Une succession de contacts à la pile et à la terre au poste d'émission, contacts prolongés chacun pendant un temps égal à vingt-cinq fois environ la valeur de α, produirait dans les signaux reçus la série de changements indiqués par la figure suivante :

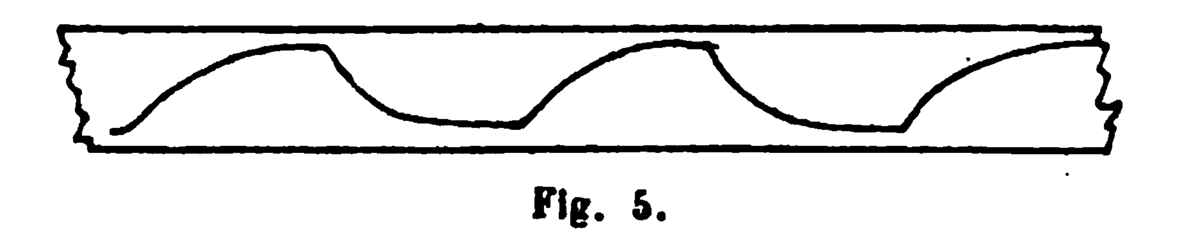


Fig. 5.

chacune des courbes étant une courbe d'arrivée complète.

Si l'on met le câble à la terre au poste d'émission avant que le courant ait atteint son maximum, la courbe descendante se substitue plus tôt à la courbe ascendante, et l'on obtient le résultat suivant :

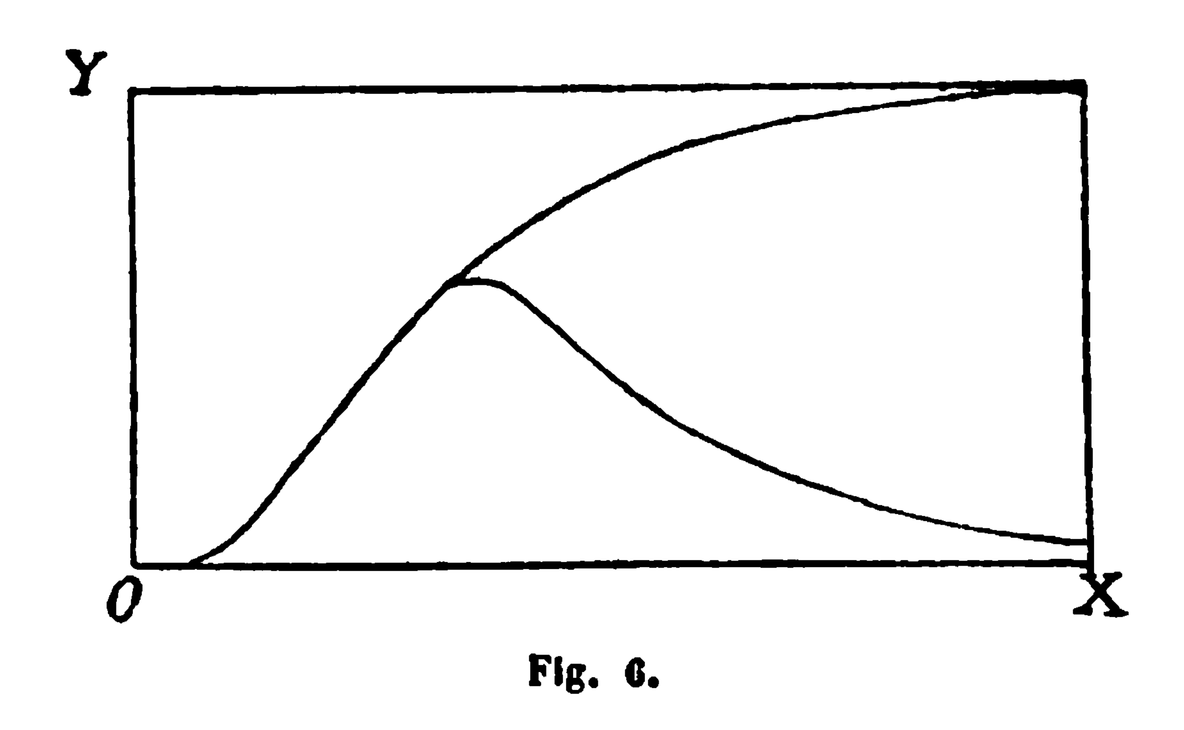


Fig. 6.

On comprend aisément que, sans attendre l'écoulement complet à la terre de cette première émission, on puisse envoyer un nouveau courant dont l'intensité à l'arrivée, plus forte ou plus faible que celle du précédent, superposera une nouvelle courbe à la précédente, et ainsi de suite :

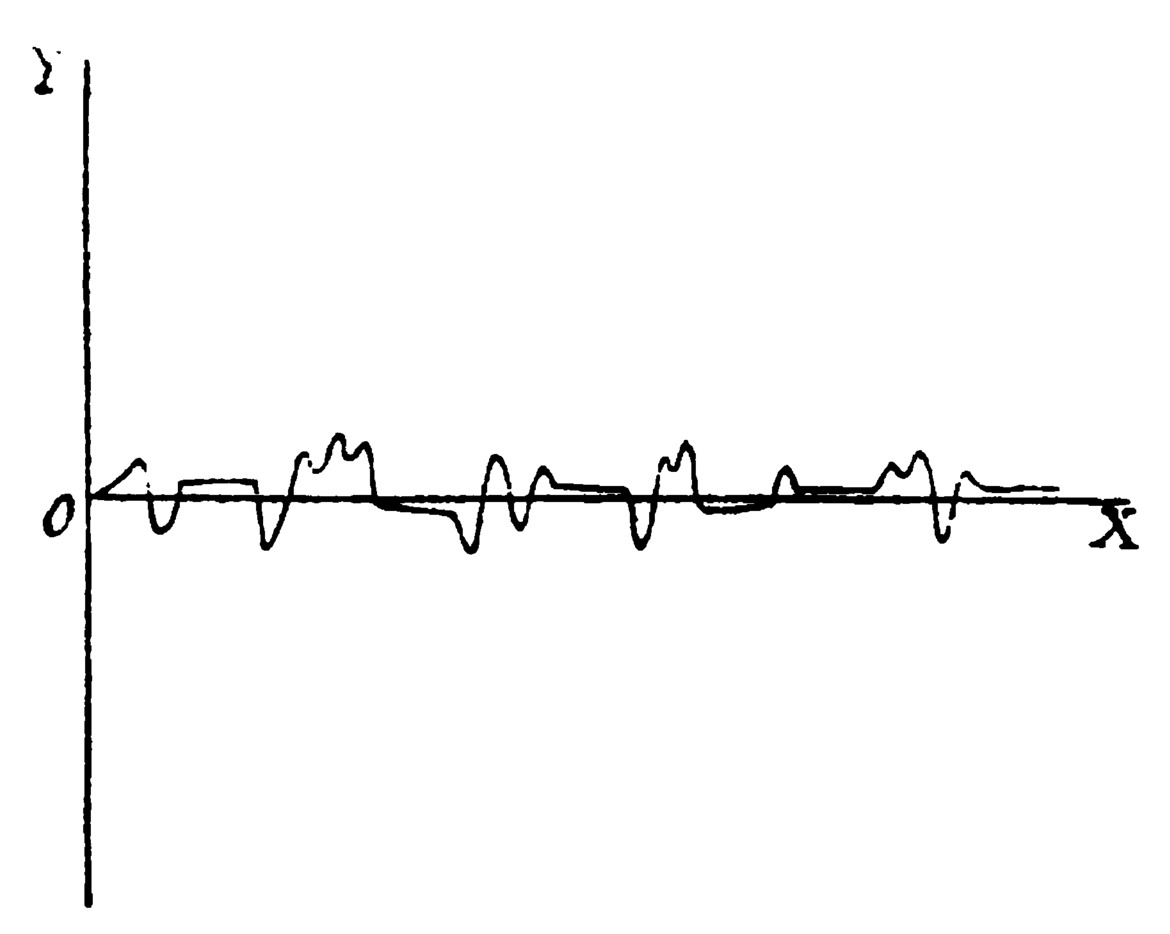


Fig. 7.

Si d'ailleurs on renverse le courant à certains moments, on obtiendra, au-dessous de l'axe des x, une courbe analogue. Et si l'on convient de considérer comme des points ou comme des lignes, chacun de ces maxima positifs ou négatifs, on pourra reconstituer ainsi tous les signaux de l'alphabet Morse.

Ce mode d'opérer permet d'arriver à une grande rapidité relative dans

les transmissions. Pour un câble transatlantique en effet, tandis que 40 « correspondant à 8 secondes environ, la transmission d'un mot exigerait deux minutes, s'il fallait entre chaque signal attendre l'ascension et la chute complète de la courbe d'arrivée, on obtient par ce moyen une vitesse réelle et pratique de 15 à 17 mots par minute.

Mais un grand nombre de signaux ne produisent pas dans le courant reçu une variation supérieure à $\frac{1}{1000}$ de ce que produirait le courant permanent. Il en résulte de grandes variations dans l'intensité de ces courants d'arrivée qui sont le résultat de 20 ou 30 courants précédents, positifs ou négatifs, superposés.

C'est la connaissance imparfaite de cette théorie de la superposition des courants et de cette variation constante d'intensité, qui rend impossible l'application de dispositions d'armatures exigeant une intensité de courant déterminée, c'est, dis-je, cette ignorance qui amène tant d'inventeurs à proposer des appareils de transmission plus ou moins applicables sur les longs câbles.

Appareils. — Le problème a été, au contraire, admirablement résolu par les deux remarquables instruments de sir William Thomson qui suivent et indiquent tous les changements dans l'intensité du courant reçu. L'un est son galvanomètre à miroir, qui, au moyen d'un rayon lumineux, longue aiguille impondérable, indique par le déplacement d'un pinceau de lumière le long d'une échelle horizontale dont le zéro représente notre axe des X, les signaux que nous avons indiqués.

(Les oscillations à droite du zéro représentent des lignes, et celles à gauche des points, comme dans l'appareil à simple aiguille).

L'autre est son enregistreur à siphon (Siphon-Recorder) qui trace exactement la courbe des signaux d'arrivée à droite et à gauche d'un axe des X vertical hypothétiquement tracé sur une bande de papier télégraphique.

Vous avez tous vu fonctionner ces deux appareils : le premier dans l'exposition de l'administration télégraphique française, le second dans la section anglaise, exposition de l'Eastern Telegraph C^e^.

Courants terrestres. — Il est enfin, Messieurs, une grande cause de perturbation dans les communications télégraphiques sous-marines et dont je ne vous dirai qu'un mot.

Ce sont ces vastes courants magnétiques terrestres qui parcourent sans cesse notre globe et principalement dans la direction est-ouest qui est précisément celle des longs câbles sous-marins de l'Atlantique ou de l'Orient. Ils sont souvent supérieurs à ceux appliqués aux câbles et gênent considérablement les transmissions.

Une très ingénieuse disposition, due à M. Varley, permet de les éliminer en grande partie au moins. Elle consiste à interposer entre le câble et la terre, c'est-à-dire entre la pile et le câble d'un côté, et entre l'appareil récepteur et le câble, à l'autre extrémité, des *condensateurs*. Il ne circule alors dans le câble que des courants d'induction produits par ces condensateurs, au lieu du courant de pile lui-même, et les courants accidentels du vaste fil de retour qu'on appelle la terre restent sans influence sensible.

Au lieu de cinq éléments de pile usités pour une application directe au câble, cette disposition permet d'ailleurs d'en employer un plus grand nombre.

Je bornerai ici, Messieurs, cette étude très écourtée et cependant déjà trop longue, non sans regrets toutefois d'avoir à peine effleuré bien des points de cette vaste question.

Pardonnez-moi d'avoir abusé peut-être de votre bienveillante attention ; vos gracieux encouragements m'ont entraîné à remplir le cadre que je m'étais tracé. Je vous en remercie moins encore pour moi que pour l'électricité. Si elle a en effet le bonheur de trouver parmi vous quelques adeptes, elle est du même coup assurée d'avoir un jour à inscrire dans ses fastes quelques-uns des grands noms dont vous avez déjà illustré la science et l'industrie.

M. le Président. Personne n'a d'observations à présenter, l'heure du reste est un peu avancée. Je remercie beaucoup M. Boistel de sa communication qui est pour nous un véritable cours sur la construction des câbles sous-marins.

La séance est levée à onze heures trois quarts.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

SÉANCES - VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ

PROCÈS-VERBAL DE LA 9e SÉANCE-VISITE

tenue le Vendredi 4 Novembre 1881

Présidence de M. Ernest Marché, *Vice-Président*.

La séance est ouverte à neuf heures et demie du matin.

M. le Président. Nous avons fait vendredi dernier dans la soirée une première visite aux appareils de la classe 8, qui concerne la production de la lumière électrique ; nous en ferons une seconde aujourd'hui, et pour la rendre plus fructueuse, je donne la parole à M. Frank Géraldy, qui veut bien se charger de nous faire un exposé général de la question et nous présenter une classification complète et méthodique des appareils exposés.

M. Frank Géraldy. C'est une histoire bien connue, Messieurs, que celle de la lumière et de l'éclairage électrique, et chacun de nous sait à quelle époque remonte sa découverte. Elle n'est pas nouvelle ; elle prend origine aux expériences que fit Davy, vers l'année 1810 ou 1811.

Il peut paraître singulier qu'une expérience si belle n'ait donné de fruits qu'au bout de soixante ans ; cela tient à ce qu'aucune des conditions nécessaires à la réalisation pratique de cette découverte n'existait au temps où Davy fit son expérience ; et c'est un exemple curieux de la longueur de temps qui doit s'écouler entre les expériences de laboratoire et les applications pratiques.

L'expérience de Davy consistait en ceci : il plaçait sur une pile de courants énergiques, deux charbons conducteurs, il faisait passer l'électricité entre ces deux charbons et maintenait l'arc voltaïque pendant un certain temps. Mais pour obtenir un résultat, il faut d'abord avoir une pile suffisamment énergique, et en ce temps-là, on ne connaissait que la pile de Volta et ses premiers dérivés ; ces piles pouvaient donner un courant très fort, mais qu'on ne pouvait maintenir. D'autre part, les charbons eux-

mêmes n'existaient pas ; il faut, pour pouvoir faire la lumière électrique, que les charbons ait une nature spéciale, qu'ils soient bons conducteurs d'électricité, qu'ils soient très purs et égaux pour que l'éclairage soit régulier ; enfin, il faut que les charbons soient aussi durs et aussi denses que possible, pour brûler lentement.

Il n'y avait absolument rien de ce genre du temps de Davy, et la nature ne fournissait pas les éléments indispensables. Il n'y avait que le charbon de bois, qui, comme vous le savez, est mauvais conducteur de l'électricité ; il est, de plus, irrégulier et poreux. Davy se servait de charbon de bois, trempé dans du mercure, pour le rendre bon conducteur ; ce charbon brûlait très rapidement et donnait des émanations de mercure très funestes à la santé.

En 1839, Foucault trouva, dans les cornues à gaz, un charbon propre à la lumière électrique. Davy n'aurait pas pu le trouver, puisque l'industrie du gaz n'existait pas de son temps. C'est un charbon dur qui tapisse les parois des cornues à gaz ; il est excessivement dense et dans sa masse on peut prendre des baguettes très minces.

Si on avait dû s'en tenir là, l'éclairage électrique aurait été arrêté dans son œuf, car il n'y a pas beaucoup de cornues à gaz, et le charbon aurait fait défaut. Bunsen avait employé comme conducteur dans ses piles, ou plutôt dans les piles de Grove, qui portent le nom de Bunsen, un charbon aggloméré ; ce charbon, ou un produit analogue, sert aujourd'hui pour la lumière électrique, et son emploi a donné lieu à toute une industrie. Je citerai, entre autres, les usines importantes de M. Carré.

Le grand point, dans l'éclairage électrique, est de maintenir les charbons à des distances convenables. Pour que l'arc voltaïque conserve toujours le même degré d'intensité, il faut, en effet, maintenir les charbons à des distances convenables ; au fur et à mesure qu'ils s'usent, il faut les rapprocher, pour qu'ils soient toujours à bonne distance.

Les charbons s'usent d'une façon irrégulière, suivant leur nature ; les deux charbons ne s'usent pas également, au moins lorsqu'on se sert de courants continus, comme à l'origine, c'est-à-dire de courants toujours de même sens ; vous savez que le charbon positif s'use deux fois plus vite, à peu près, que le charbon négatif ; il faut donc les rapprocher constamment l'un de l'autre, et dans des proportions inégales. Quand l'arc s'affaiblit, c'est-à-dire, quand les charbons, en s'usant, sont éloignés l'un de l'autre, le courant s'affaiblit. C'est donc au courant lui-même qu'il faut demander la réglementation de la lampe.

M. Foucault est le premier qui ait employé un régulateur, quand il a construit sa première lampe, qui date de 1840.

Voici, en quelques mots, comment était composée sa lampe : je ne vais pas vous en donner ici une description détaillée, car elle est fort compliquée.

M. Foucault disposait ses charbons, comme nous le rencontrerons constamment, sur deux supports, il les plaçait, l'un dans le prolongement de

l'autre; ces deux supports sont liés l'un à l'autre, et réglés de telle façon que chacun d'eux avance d'une quantité déterminée; comme le charbon positif s'use deux fois plus vite que le charbon négatif, le support qui porte le charbon positif, avance toujours deux fois plus que l'autre. Ces deux supports sont en prise avec deux mouvements d'horlogerie inverses, munis chacun d'un barillet et d'un ressort; de ces deux mouvements, l'un a pour but d'éloigner les charbons, l'autre est destiné à les rapprocher. Il faudra donc mettre en action, soit l'un, soit l'autre de ces deux mouvements d'horlogerie, suivant qu'il faudra écarter ou rapprocher les charbons. Cette opération se fait à l'aide d'un électro-aimant, dans lequel passe le courant; c'est le courant qui sert de régulateur aux mouvements d'horlogerie. Il y a une palette qui sert à embrayer l'un ou l'autre de ces deux mouvements; si par suite de la faiblesse du courant, la palette s'éloigne, elle met en mouvement celui des deux mouvements qui doit rapprocher les charbons; si, au contraire, elle se rapproche, elle retrouve le mouvement qui doit les éloigner.

Comme je vous l'ai dit, je suis très loin de vous donner ici une description complète de cette lampe et de ce régulateur: le mécanisme en est très compliqué. Cette lampe, telle que M. Foucault l'a construite, n'est pas en usage: c'est le premier appareil d'éclairage électrique qui ait paru; mais il a été immédiatement simplifié par M. Duboscq, constructeur, collaborateur habile de M. Foucault.

La lampe de M. Duboscq est un régulateur qui repose aussi sur un mouvement d'horlogerie; on s'en sert encore dans les laboratoires, et elle est surtout employée pour les projections, parce qu'elle maintient son point lumineux à la même place. Elle ne figure pas spécialement à l'Exposition; cependant, vous la verrez dans la salle de théâtre, où M. Duboscq en a placé une ou deux, au milieu des appareils de théâtre qui y sont exposés. C'est la spécialité de M. Duboscq, l'éclairage électrique dans les théâtres; on voit, dans cette salle, la lampe qui sert à faire le soleil dans le *Prophète*.

Mais, comme celle de M. Foucault, cette lampe n'est pas devenue d'un usage courant.

Le premier appareil qui soit devenu d'un usage réellement courant est celui de M. Serrin. Mais, entre celui de M. Duboscq et celui de M. Serrin, il faut placer les essais de M. Archereau. Beaucoup de vous connaissent son esprit si ardent pour les recherches, auquel on a dû des expériences excessivement intéressantes.

Il avait fait un régulateur très simple; au lieu d'un électro-aimant, il s'est servi d'un solénoïde, qui remplissait à peu près les mêmes fonctions. Il se compose d'une bobine de foison de carton où est enroulée une spirale de fil conducteur, dans cette bobine creuse, on introduit une tige de fer mobile. La tige est attirée par le solénoïde jusqu'à ce qu'il y ait équilibre. Si cette tige porte un charbon, et si nous en mettons un autre suspendu à

une espèce de potence (M. Archereau suspendait ce charbon, en sorte que les deux charbons eussent tendance à se rapprocher par leur poids), vous liez cette potence à l'autre charbon avec une petite poulie ; chaque fois qu'il descend, il tend à se rapprocher de l'autre, mais ce mouvement est ralenti par le solénoïde, et le courant qui passe dans le solénoïde est le même que celui qui passe dans les charbons.

Dans la marche, les charbons s'usent, finissent par être trop écartés, l'arc lumineux diminue ; à ce moment-là, la tige de fer étant lâchée, les charbons se rapprochent.

Comme vous voyez, le système est simple, mais il n'est pas précis, il ne fonctionne jamais, dans cette forme-là, d'une façon régulière ; il faut le surveiller et y avoir constamment la main.

Cependant, on l'a vu fonctionner, pratiquement, il a servi à l'éclairage des ateliers de construction ; il y a longtemps, quand on a travaillé au Louvre, les premiers essais d'éclairage électrique furent faits avec le régulateur de M. Archereau.

C'est à la même époque que M. Staite, qui était un esprit éminent, un chercheur infatigable, et qui a laissé, dans les nombreux brevets qu'il a pris, une grande quantité d'idées, réalisées depuis, c'est à cette époque, dis-je, que M. Staite avait construit un régulateur fort intéressant, et reposant sur des principes analogues, mais qui a complètement disparu.

Les études de M. Serrin ont leur point de départ dans le régulateur de M. Archereau, comme dans celui de M. Foucault. C'est du régulateur Archereau qu'il est parti ; mais il l'a modifié, il l'a compliqué, en même temps rendu plus précis ; mais enfin, il est arrivé à un résultat. Je vais vous en dire quelques mots.

Le système de M. Serrin repose toujours, en principe, sur l'emploi de l'électro-aimant ; seulement, au lieu de demander le mouvement du charbon à un mouvement d'horlogerie, il le demande au poids même du charbon, comme faisait M. Archereau ; il suspend ses deux charbons à deux supports, l'un en forme de potence, et l'autre, placé dessous, est relié à l'autre à l'aide d'une chaîne sur une poulie, de façon à ce que l'un ne puisse descendre sans faire monter l'autre. Ces charbons sont reliés à un système de rouage d'horlogerie ; il y en a généralement quatre mobiles, six, dans certains régulateurs. Ces rouages sont terminés par une petite roue en forme d'étoile ; un buttoir retient la roue étoilée et l'appareil est immobile. Ce buttoir est en prise avec la palette de l'électro-aimant. Dans cet électro-aimant passe le courant qui vient allumer la lampe. Si le courant marche bien, le buttoir ne bouge pas et les rouages sont immobiles ; si le courant s'affaiblit, le buttoir s'éloigne, les rouages se mettent en mouvement, les charbons se rapprochent et l'arc voltaïque reprend sa marche. Ce régulateur de M. Serrin a été pendant longtemps le seul pratique. Depuis 1856, jusqu'à 1867 et 1868, on ne s'est guère servi que de celui-là. Il figure à l'Exposition, à l'entrée. Ces appareils sont encore en

usage dans les phares; ce sont d'excellents appareils, ils sont très stables, et l'Administration des phares les emploie de préférence.

Ce qui caractérise l'emploi de ces lampes c'est que la quantité d'électricité qu'elles peuvent prendre n'est pas limitée; elles ne s'arrêtent que lorsque le courant devient trop faible. Si on met plusieurs lampes sur un même courant, pendant quelques minutes, elles marcheront ensemble; mais après, l'une marchera plus vite que les autres, de sorte, qu'au bout de quelque temps, ce régulateur prendra tout et finira par éteindre les autres lampes; cette dernière lampe finira par marcher mal à son tour, jusqu'à ce qu'elle arrive à s'éteindre elle-même. Ainsi, on ne peut placer qu'une seule lumière sur un seul courant, et, par conséquent, une seule lumière sur chaque générateur. Ce sont des appareils désignés sous le nom de monophotes. Il n'y en a pas beaucoup à l'Exposition; s'il faut, en effet, mettre une machine par appareil, c'est une disposition très coûteuse. Il y en a cependant, ce sont des appareils du genre de ceux dont je viens de parler. Il faut citer d'abord les lampes de M. Jaspar, dans l'Exposition belge: c'est une espèce de régulateur Archereau à solénoïde; il a obtenu le réglage avec un levier à contrepoids qui peut glisser, et on adoucit le mouvement au moyen d'un petit piston plongeant dans un liquide; ici, on a mis du mercure. Les charbons sont obligés de déplacer une certaine quantité de liquide; pour se mouvoir, en sorte que les mouvements son plus gras, et cela améliore beaucoup la marche du régulateur. Ce système est d'une application simple.

Les régulateurs de M. Jaspar sont les plus marquants; quatre de ces régulateurs sont placés sur de hauts mâts, dans l'exposition belge. Dans la salle 15, il y a quelques régulateurs de ce genre. Le caractère de ce dernier éclairage tient surtout à la disposition particulière qu'on a adoptée pour les réflecteurs. Vous vous rappelez ces grands abat-jour ronds, ces sortes de parapluies blancs, auxquels sont suspendus par des tiges des espèces de seaux en tôle noire, desquels la lumière jaillit; cette disposition, d'ailleurs favorable, n'est pas particulière à la lumière Jaspar. Toute autre lumière électrique, employée dans ces conditions-là, avec des réflecteurs de ce genre, pourrait donner le même résultat. Cela tient tout simplement au réflecteur. Avec des plafonds blancs, on aurait même de meilleurs résultats. Ici, il y a certainement une perte d'intensité de lumière, mais cela donne un éclairage très doux, très égal, qui est avantageux pour les ateliers, où on a besoin d'une grande répartition de lumière, sans chercher le luxe de la décoration, car il est certain que ces seaux noirs suspendus dans une salle sont fort laids. Les lampes de ce genre, aussi bien celles qui sont dans les galeries du bas que celles qui sont dans les salles du haut, à l'Exposition, sont indivisibles; chacune d'elles prend une machine. Nous avons dit que ces régulateurs étaient des monophotes.

Nous allons inscrire par ordre les lampes que nous décrivons dans le tableau ci-contre : il y a d'abord celles de Foucault, Duboscq; vous

LAMPES AVEC COMBUSTION.

Foyers à conducteur discontinu (arc voltaïque).						Conducteur imparfait.	Lampes sans combustion incandescente.
Charbons à distance variable.					Charbons à distance fixe.		
Monophotes.			Polyphotes.				
			A dérivation.	Différentielle.			
	Foucault.	Électro-aimants.	Lontin.	Siemens.	Rapieff.	Bougie Joblochkoff.	Swan.
	Duboscq.		Gramme.	Brush.	Gérard.		Edison.
	Serrin.		De Mersanne.	Weston.		L. Werdermann Reynier.	Lane Fox.
	Burgin.					Lampe-Soleil.	Maxim.
	Archereau.	Solénoïdes.			Bougie Welde.	Pilleux, Quesnot.	
	Jaspar.				Bougie Jamin.	etc.	
	Punland.	Divers.					
	Andrews.						
	etc.						

trouvez, dans la section suisse, celui de M. Burgin. Ces trois régulateurs reposent sur l'électro-aimant.

Puis, nous arrivons aux régulateurs à solénoïde ; nous avons les systèmes Archereau, Jaspar, puis, le système Chertemps, qui est très simple ; vous en verrez des spécimens dans la salle 15.

Enfin, il resterait à ranger, dans cette classe, une certaine quantité de lampes dont les dispositions ne peuvent pas être classées. Il y en a qui ont des charbons courbes, de façon que les charbons se présentent les uns devant les autres en tournant. Je n'ai pas vu fonctionner ce système. Il ne faut pas considérer le charbon comme un bon conducteur d'électricité, ce n'est jamais qu'un mauvais conducteur, et il y a là une résistance très notable introduite inutilement dans les lampes.

Vous verrez, dans ce genre, la lampe de M. Puniland, et, dans la section anglaise, la lampe de M. Andrews qui est à charbons plats.

Les lampes électriques, maintenant, ne se comptent plus, elles se multiplient à l'infini. Si on essayait de relever tous les brevets qui ont été pris pour les différents systèmes, on n'en finirait pas; j'ai essayé de le faire, j'ai été obligé d'y renoncer. Il aurait fallu plus d'un mois, rien que pour en prendre la nomenclature.

L'inconvénient de toutes ces lampes, c'est que chacune d'elles exige un courant pour elle toute seule. C'est pour ce motif, qu'il y en a très peu à l'Exposition.

Le besoin de la division se faisait sentir, et on a construit, depuis quelques années, des lampes disposées de façon à pouvoir en placer plusieurs sur le même circuit. Pour cela, il faut que nous changions les dispositions de nos appareils.

La première modification qu'on remarque, c'est l'introduction qu'a faite M. Lontin, du principe de la dérivation; il emploie toujours l'électro-aimant, mais en sens inverse. Les charbons sont toujours placés de la même façon, mais nous divisons le courant en deux parties: l'une se rend aux charbons, l'autre va passer à travers un électro-aimant. Seulement, nous disposerons cet électro-aimant en sens inverse des électro-aimants dans les régulateurs; lorsqu'il retient, lorsqu'il attire sa palette, il lâche l'appareil ; c'est au contraire, lorsqu'il ne retient pas la palette que l'appareil est immobile. Tout à l'heure, c'était quand l'électro-aimant retenait la palette que les charbons se rapprochaient; l'appareil était immobile, quand la palette est lâchée. Nous donnons une grande longueur de fil à l'électro-aimant, le courant va se diviser en deux parties: l'une qui est de beaucoup la plus forte ira aux charbons, et l'autre, beaucoup plus faible, se rendra à l'électro-aimant. La partie qui va aux charbons produira l'arc voltaïque, et l'autre, à cause de sa faiblesse, ne produira rien du tout. A mesure que les charbons s'écartent, l'arc voltaïque s'affaiblit, et à mesure que le courant s'est affaibli d'un côté, il s'est augmenté de l'autre, de sorte qu'à mesure que le courant a diminué dans les charbons, il est plus fort dans l'électro-aimant. Alors, la palette est attirée, et les charbons, devenus

libres, se rapprochent. Nous pouvons toujours faire en sorte que l'électro-aimant agisse au moment où nous voudrons; nous n'avons qu'à modifier le petit ressort qui retient son armature; les charbons pourront ne pas prendre tout le courant, si nous voulons. Tout le courant passe toujours à la bifurcation, où il se coupe en deux, et nous le retrouvons toujours ici. Il est donc possible de placer plusieurs lampes sur le même circuit.

M. Lontin est le premier qui a pu placer douze régulateurs sur le même circuit. Il n'y a pas de spécimen de cette lampe à l'Exposition. La Compagnie Lontin, qui s'est fondée pour l'exploitation de ces procédés, exploite toujours les machines de M. Lontin, mais elle ne se sert plus de ses lampes; elle se sert des lampes de Mersanne que vous verrez à l'Exposition, dans la salle qui se trouve à côté du buffet; je crois que c'est la salle 16.

Dans ces lampes, les crayons de charbon sont horizontaux, et sont placés en face l'un de l'autre. La lampe est suspendue par le haut; elle est revêtue d'un réflecteur formé de plaques successives, placées les unes au-dessus des autres. Comme les charbons ne peuvent plus descendre par leur propre poids, puisqu'ils sont placés horizontalement, il faut les entraîner l'un vers l'autre. Cela se fait avec un mouvement d'horlogerie et à l'aide de galets roulants qui poussent les charbons l'un vers l'autre. Il y a un électro-aimant et un mouvement d'horlogerie assez compliqué, comprenant un système d'engrenages et de transmission. L'appareil marche bien, mais il est délicat, il donne des résultats convenables et permet la division de la lumière.

Une autre lampe, fondée sur le même principe de dérivation, est la lampe de M. Gramme. Il y en a un grand nombre à l'Exposition; vous en rencontrerez dans la grande nef, surtout autour de la section française; elles se distinguent par un grand cylindre, au-dessous duquel est placé le globe. L'appareil est fondé sur le principe de la dérivation, comme je viens de le dire, c'est-à-dire qu'il y a un électro-aimant qui limite la quantité d'électricité que peut prendre la lampe.

Vous voyez, qu'avec tous ces foyers, nous entrons dans une autre classe de machines : ce sont les polyphotes.

Pour continuer notre tableau, nous allons mettre, dans une seconde colonne, les lampes fondées sur la dérivation : ce sont les lampes Lontin, de Mersanne et Gramme. Il y en a d'autres, mais on ne peut tout noter.

On peut pousser plus loin, si l'on veut; ces lampes-là ne sont pas absolument réglées. Supposons que nous ayons un courant de 50 ampères, les choses sont disposées de façon que, quand il en passe 49 dans le charbon, il y en a un dans l'électro-aimant. Si nous prenons 100 ampères, au lieu de 50, l'électro-aimant marchera toujours quand il passera un ampère, et dans la lampe, il y aura, à ce moment-là, 99 ampères. La lampe prendra donc une quantité de courant beaucoup plus considérable, dans ce second cas que dans le premier. Il est bien entendu que ce sont là des chiffres proposés uniquement pour fixer les idées.

On peut arriver à régler l'appareil plus complètement par un système différentiel, lorsqu'on se sert de deux courants pour les opposer l'un à l'autre; supposons que vous fassiez passer le courant en le divisant, et que, l'ayant ainsi divisé, vous amenez la première moitié sur un électro-aimant, pour l'amener ensuite aux charbons, l'autre moitié du courant passera dans un second électro-aimant et s'en ira directement au dehors. Entre ces deux électro-aimants, est une palette qui retient les charbons, comme toujours, et qui les empêche de se rapprocher; elle est en prise à deux attractions: celle de l'électro-aimant d'en haut, et celle de l'électro-aimant d'en bas; elle ira vers l'électro-aimant qui l'attirera le plus. Celui d'en haut présente une petite résistance, et celui d'en bas une très grande, le courant est partagé en deux parties inégales dont l'une traverse les charbons; supposons que les charbons s'écartent, l'arc s'allonge, le courant s'affaiblit d'un côté, tandis que, de l'autre côté, il augmente, la palette, attirée par le solénoïde d'en bas, est moins bien retenue par celui d'en haut, elle se dirige vers le solénoïde d'en bas, et l'appareil marche.

Sur ce système, sont fondées les lampes de M. Siemens, le premier qui ait appliqué ce principe d'une façon sérieuse; vous en trouverez un grand nombre de spécimens dans l'Exposition. Il y en a dans toutes les sections, soit allemande, soit anglaise, soit française, car les frères Siemens sont partout. Vous verrez des applications de ce système dans le grand lustre placé sous le passage d'entrée à l'Exposition; il porte six lampes Siemens du système différentiel; on a donné à la lampe une petite queue, de façon que, pour remplacer le charbon d'en bas, on n'a qu'à le pousser, et les lampes peuvent marcher plus longtemps.

Notons cette autre série, qui sera la série des lampes différentielles. La première est la lampe Siemens.

C'est également sur ce principe que sont fondées les lampes Brush. Tout le monde a pu les voir: ce sont les lampes qui se trouvent dans la galerie, du côté de la sortie. Ces lampes sont du système différentiel, comme celles de M. Siemens, mais elles sont disposées d'une façon différente. Au lieu de prendre deux bobines, M. Brush fait deux enroulements de fils sur le même solénoïde; il place un premier enroulement, dans un sens qui représente la bobine *a*, et un second enroulement en sens contraire, qui représente la bobine antagoniste *b*. Le solénoïde agit en raison de la différence de ces deux actions: si les deux actions électriques sont égales, il n'y a aucune action dans le solénoïde, il agit donc de la même façon que l'ensemble des deux bobines. Il réalise le système différentiel avec une seule bobine, sur laquelle on fait deux enroulements: c'est le système de télégraphe Duplex. La lampe de M. Brush marche très bien; elle doit ce bon fonctionnement surtout à un très bon emploi de la glycérine. Toutes les pièces de la lampe de M. Brush sont munies de petits pistons qui trempent dans un cylindre où il y a de la glycérine. Les tiges qui portent les charbons sont de longs cylindres creux, qui sont placés, dans une cheminée, à travers laquelle ils descendent, et à la cheminée, est

attachée une petite tige avec une petite cloche ; la tige creuse est pleine de glycérine ; il faut que la petite cloche remonte, pour que le charbon descende. Comme ce déplacement ne peut se faire que lentement, les mouvements sont adoucis ; c'est un moyen très simple et très ingénieux.

La bonne marche de ces lampes tient autant à l'emploi de la glycérine qu'à la disposition électrique elle-même, quoique cette disposition soit bonne d'ailleurs. Ce petit arrangement réussit très bien. Les lampes Brush sont faites pour marcher à grande tension ; il les dispose en grand nombre sur un même circuit ; c'est surtout une disposition électrique qui tient à sa machine, mais la lampe n'est pour rien là-dedans. Il a pu allumer les 38 lampes de l'Opéra avec un courant qu'il communiquait de l'Exposition, ayant ainsi un circuit de six kilomètres environ. C'est un résultat très intéressant. A côté des lampes Brush, il faut placer les lampes de M. Weston : ce sont des lampes différentielles, et elles ressemblent aux lampes Brush ; seulement, les solénoïdes sont placés horizontalement au lieu d'être placés verticalement. Ce sont les lampes de M. Westen qui éclairent le grand salon carré, bien plus que les lampes de Maxim qui sont placées trop haut et qui n'éclairent pas beaucoup ; elles sont plutôt là un objet de décoration.

A ces lampes, il faut ajouter les lampes de MM. Piette et Krizik.

Voilà toutes les lampes différentielles qu'on peut voir à l'Exposition. Nous allons maintenant passer à une autre chose. Toutes ces lampes que nous avons décrites jusqu'ici ont un caractère commun : c'est que les charbons se rapprochent ou s'éloignent suivant la nécessité des cas. Toutes ces lampes forment donc une classe spéciale, dans laquelle les charbons sont à une distance variable.

Il y a toute une série de lampes dans lesquelles la distance des charbons n'est pas variable. Dans ces lampes, on s'arrange pour que les bâtons de charbon soient toujours à la même distance.

L'un des plus ingénieux moyens que je connaisse est celui qui a été réalisé par M. Rapieff.

M. Rapieff se sert de quatre charbons : deux de ces charbons sont disposés en forme de V, les deux autres forment un autre V, opposé au fur et à mesure que les charbons brûlent, ils vont se rapprochant, mais se rencontrent toujours au même point, il s'ensuit que la distance à franchir reste suffisamment constante ; de cette façon, la lampe, n'à qu'une quantité d'électricité limitée (ce n'est pas une quantité, absolument fixe, mais au moins ce n'est pas une quantité infinie). Elle n'a donc pas de tendance à absorber tout le courant, et on peut placer plusieurs lampes sur le même circuit. Toutefois, je n'en ai pas vue à l'Exposition.

Vient ensuite la lampe de M. Gérard, qui est fondée sur le même principe. J'ai vu marcher ces lampes à 4 charbons ; celles de M. Gérard sont des lampes à solénoïdes, je suppose qu'elles marchent bien. C'est un système de lampes qui peut très bien aller, aussi bien que d'autres.

Nous placerons donc dans la série des lampes à distance invariable, les lampes Rapieff et les lampes Gérard.

Dans cet exposé, je suis l'ordre chronologique. Après toutes ces différentes dispositions de lampes, on a vu apparaître la bougie de M. Jablochkoff. C'est vers 1877 qu'elle fit son apparition. Elle repose sur un principe différent de celui des autres lampes.

Jusqu'ici, nous avons toujours vu des lampes où on se servait de l'arc voltaïque, c'est-à-dire qu'il y avait une sorte de rayonnement électrique entre deux points ne se touchant pas et séparés par un espace chaud. On ne sait pas au juste ce qu'il y a dans l'atmosphère de l'arc, mais il y a une atmosphère chaude, une sorte de jet d'étincelles.

La bougie Jablochkoff n'est pas dans ce cas là ; il y a un conducteur continu d'une des pointes de la bougie à l'autre.

Elle se compose de deux charbons placés parallèlement l'un à côté de l'autre et séparés par une sorte de petite cloison, qui a été formée d'abord avec du plâtre et plus tard avec du kaolin, et puis avec une pâte contenant du sulfate de baryte. Lorsque l'arc électrique jaillit, l'électricité commence par échauffer cette pâte, la brûle et produit une flamme en volatilisant cette petite plaque, cette petite cloison placée entre les deux charbons, de sorte qu'il y a là une sorte de chemin demi liquide; l'arc n'est pas de même nature que l'arc ordinaire : il y a là une sorte de conducteur réel, imparfait, c'est vrai, mais pas absolument discontinu.

La bougie Jablochkoff n'est pas tout à fait à arc voltaïque : elle tient le milieu entre l'arc voltaïque et l'incandescence pure.

Nous appellerons les appareils à arc voltaïque décrits jusqu'ici, appareils à conducteurs discontinus, puis, nous créerons une autre classe d'appareils auxquels nous donnerons le nom d'appareils à conducteurs imparfaits, et le premier, ce sera la bougie Jablochkoff.

Vous voyez tout de suite la difficulté que l'on éprouve pour faire marcher ces bougies-là. Je vous ai rappelé que, lorsqu'on emploie le charbon, le charbon positif brûle toujours deux fois plus vite que le charbon négatif, alors la bougie se creusera et finira par s'éteindre. Pour remédier à cet inconvénient, on a mis le charbon positif double de l'autre, mais le négatif rougit tout de suite. La vraie façon de trancher la difficulté, c'est de ne pas employer le courant continu, mais d'employer le courant alternatif.

Alors, il n'y a plus de sens dans le charbon, et la bougie se comporte très bien; tant qu'on n'a pas eu l'idée d'employer ce procédé, les bougies ont mal marché, et ce n'est que lorsqu'on a fait des essais avec les machines de l'Alliance, qui sont à courants alternatifs, qu'on est arrivé à un résultat satisfaisant. Les courants alternatifs ont un avantage pour la lumière, car ils donnent une position symétrique aux charbons.

La bougie Jablochkoff n'est pas dans la même classe que les bougies Jamin et Wilde, qui comme elle, ne sont pas à courants continus, mais à courants alternatifs.

La bougie de M. Wilde, la première en date, comporte deux charbons

placés à côté l'un de l'autre : l'un est fixe ; l'autre est placé sur un petit support mobile terminé par une palette placée sur un électro-aimant : quand il n'y a pas de courant, il touche l'autre charbon ; lorsque le courant passe, il allume la pointe des charbons, en même temps il agit sur l'électro-aimant, qui attire la petite palette, le charbon se redresse, et l'arc, qui est allumé, continue de jaillir. Si la bougie venait à s'éteindre, comme le courant ne passe plus dans l'électro-aimant, le charbon retombe et l'arc recommence à jaillir. Cette bougie est rallumable : la bougie Jablochkoff ne l'est pas. L'extinction de la bougie Jablochkoff est irréparable, pour le moment ; quand elle est éteinte, elle l'est bien.

La bougie de M. Jamin est analogue à la bougie Wilde ; seulement elle a la tête en bas. Elle est entourée d'un cadre en fil conducteur qui doit maintenir la flamme à la pointe des deux charbons.

La flamme varie, si un certain point des charbons est très près de l'autre, il y a tendance à donner une irrégularité à la flamme. M. Jamin enveloppe son appareil d'un câble qui attire le courant, de sorte que la position de la flamme est plus fixe. Il a fait de très intéressants travaux sur la tension ; il a voulu mettre un grand nombre de bougies sur un même circuit, et il a obtenu des tensions considérables.

Les bougies Jablochkoff sont répandues un peu partout à l'Exposition ; les bougies de M. Wilde éclairent une des salles du haut. Les brûleurs Jamin sont très nombreux : il y en a dans la grande salle de billard, dans les appartements meublés, dans la salle à côté, enfin, il a disposé, au-dessous d'une machine, une rampe de soixante bougies allumées par une même machine.

Les bougies Wilde et Jamin peuvent être rangées parmi les appareils à arc, à distance invariable, à la suite des appareils Rapieff et Gérard.

A côté de la bougie Jablochkoff, il faut mettre la lampe soleil, qui se trouve à côté de la salle de théâtre, dans la salle où sont les tableaux.

Elle se compose d'un petit bloc de marbre et de deux charbons ; on fait arriver le courant par l'un des charbons et on le fait ressortir par l'autre : l'électricité passe d'un charbon à l'autre en suivant la petite longueur de matière réfractaire qui les sépare.

C'est un conducteur analogue au procédé Jablockoff : la lumière est très fixe ; tout cela est enveloppé dans une sorte de boite ; la lumière jaillit par-dessous, et elle n'éclaire que dans une seule direction. Cette lampe est à la fois à distance invariable et à conducteurs non discontinus. La lumière a une jolie couleur ; elle est à l'exposition de tableaux, parce que sa couleur a paru plus avantageuse à la peinture, que celle du régulateur.

Ensuite vient la lampe Reynier-Werdermann. Cette lampe à un conducteur imparfait, mais de fait, elle a un conducteur.

Voici comment elle fonctionne. Sur une pièce qui peut être une roulette, une boule, vous faites descendre un crayon de charbon ; comme le bloc immobile est considérable de dimensions, il ne s'échauffe pas ; le crayon, au contraire, s'échauffe beaucoup. On amène le courant à la dis-

tance où l'on veut que le crayon blanchisse, et l'espace compris entre ce point d'amenée et le point de la buttée du charbon devient incandescent.

Y a-t-il arc voltaïque ou n'y en a-t-il pas? On a beaucoup discuté là-dessus, les uns prétendant qu'il y avait un arc voltaïque, d'autres soutenant qu'il n'y en avait pas; on a fini par conclure qu'il y avait un arc voltaïque qui n'en était pas un, c'est-à-dire un arc presque imperceptible. Il y a, en effet, un contact très léger; il y a, d'autre part, autour du charbon, une formation de sorte d'aigrette électrique; c'est sans doute à cela que cette lampe doit son bel éclat.

Les premières dispositions de lampes de ce genre sont celles de M. Reynier. On a combiné ce système avec celui de M. Werdermann, dans lequel le charbon montait. M. Napoli a ajouté des dispositions mécaniques intéressantes. Vous verrez ce système, à l'Exposition, en bas du grand escalier; la lumière a une très jolie couleur et est très fixe. Les lampes Werdermann et Napoli sont très belles; elles ont peut-être un peu moins d'intensité, par quantité de force dépensée, que les régulateurs purs. Mais ce sont des solutions très commodes, et ce sont celles qui ont tendance à prévaloir en ce moment-ci.

Ceci nous amène enfin à la dernière série des lampes : les lampes à incandescence pure.

Elles sont différentes de celles que nous avons vues jusqu'ici; toutes celles que nous venons de voir avaient des charbons qui brûlaient : les lampes à incandescence ont des charbons qui ne brûlent pas; elles sont privées d'oxygène, placées dans des vases vides ou renfermant des petites quantités de gaz carburé, impropre à la combustion.

Nous pouvons donc établir deux grandes divisions : dans la première, nous placerons toutes les lampes que nous venons de voir et qui sont à combustion; la seconde comprendra les lampes sans combustion, c'est-à-dire, à incandescence. Ce sont les dernières qu'il nous reste à examiner.

Quand on parle de lampes à incandescence, il vous vient tout de suite à la mémoire les systèmes Edison, Swan, Maxim, Lane Fox et quelques autres.

Je n'essayerai pas de vous dire la différence qui existe entre ces divers systèmes, parce que je n'ai jamais pu la trouver; ils sont absolument semblables, et ne diffèrent que par la forme des charbons et peut-être par quelques détails de fabrication; le charbon de la lampe Maxim a la forme d'un M; celui d'Edison a la forme d'un fer à cheval, etc.; c'est à peu près la seule différence qu'il y a entre ces systèmes de lampes à incandescence. Chacun a pris un brevet pour son charbon. L'un fabrique son charbon avec du coton, un autre avec du carton; dans tous ces systèmes, il n'y a rien de spécial que la différence de préparation du charbon. Chacun prétend que son charbon a un immense avantage sur les autres; quant à moi, j'ai expérimenté qu'on pouvait faire du charbon avec beaucoup de matières et que cela marchait toujours à peu près.

Je ne puis donc pas vous donner de détails sur ces systèmes; ils se res-

semblent extrêmement et ne diffèrent que par la longueur et la forme données aux charbons.

Vous verrez tous ces systèmes-là, à l'Exposition : la lampe Edison se trouve un peu partout; la lampe Lane Fox se trouve dans un bureau qu'elle éclaire; la lampe Maxim éclaire la grande salle carrée; la lampe Swan se trouve dans plusieurs salles.

Je n'ai pas la prétention de vous donner des détails sur tous les appareils qui sont à l'Exposition, ils sont trop nombreux. Ces lampes à incandescence donnent une jolie lumière, qui se prête beaucoup aux décorations.

La lampe n'est pas très intense, de façon à pouvoir fournir une lumière tempérée; mais ce système a un grand défaut : ce sont des lampes dépensières, qui donnent une lumière médiocre, comme intensité.

On ne peut pas obtenir plus de quatre à cinq lampes Maxim pour la dépense d'un cheval-vapeur. Des demi-lampes d'Edison, on ne peut guère mettre plus de huit ou neuf par cheval-vapeur ; de celles de Swan, six ou sept, pour la bonne marche des appareils. On peut obtenir beaucoup plus de lumières qu'elles n'en donnent, mais alors le charbon se détruit par une sorte de volatilisation et noircit le globe; d'autre part, la fragilité du verre l'expose à être brisé. C'est un éclairage de luxe pour ceux qui ont de la force à dépenser, mais ce n'est pas un éclairage industriel, à moins que le mode de production d'électricité ne soit moins coûteux qu'il ne l'a été jusqu'ici. On trouvera probablement le moyen, et en supposant même qu'il s'agisse seulement d'électricité distribuée, on le payera assez volontiers un peu plus cher pour ne pas avoir l'ennui de la faire soi-même, et il y a beaucoup de chances que cet éclairage soit adopté dans un certain nombre d'endroits.

En tout cas, avec cet ensemble de lampes formidable, il est probable que l'éclairage électrique ouvre la voie à un grand nombre d'industries, surtout quand les connaissances que l'on a aujourd'hui se seront complétées et se seront popularisées.

Messieurs, ce sera un grand résultat de l'Exposition, d'avoir montré à tous l'ensemble de ces systèmes.

M. le Président. Messieurs, vos applaudissements remercient, mieux que je ne pourrais le faire, M. Frank Géraldy, de cet exposé si complet qui nous permet de voir à peu près tous les systèmes d'éclairage électrique qui se trouvent à l'Exposition.

Pour compléter l'ensemble de ces explications, je donnerai la parole à M. Napoli, qui veut bien nous faire une communication sur les systèmes projetés de la distribution de la lumière électrique et nous donner quelques renseignements sur chacun de ces systèmes.

M. Napoli. Je ferai d'abord une objection à M. Géraldy, sur la classification des lampes Reynier : il les a mises avec les bougies Jablochkoff; elles ne sont pas ainsi à leur place, car dans ces lampes il n'y a pas d'arc.

En voici la raison : s'il y avait arc, il y aurait volatilisation du charbon, ce qu'on peut constater à l'aide spectroscope, j'en ai fait l'étude, j'ai bien examiné, je n'ai jamais vu la raie du carbone, lors de l'emploi de la lampe Reynier, donc, il n'y a pas volatilisation et il n'y a pas, conséquemment, d'arc voltaïque.

M. Frank Géraldy. Je crois que le classement est bon, parce que, dans la bougie Jablochkoff, il n'y a pas d'arc non plus. D'ailleurs, cela a peu d'importance.

M. Napoli. Ce n'est pas mon avis, mais passons. Aujourd'hui, on s'occupe beaucoup de savoir comment on distribuera l'électricité, dans une conduite assez considérable ; les particuliers ne veulent pas d'électricité chez eux, parce que cela les forcerait à avoir aussi une machine à vapeur ou à gaz et un générateur d'électricité ; ils attendent donc une bonne canalisation électrique, en sorte qu'il faut que cette distribution soit bien établie pour pouvoir mettre l'éclairage électrique à la portée de tous.

Nous pouvons, dès à présent, dire quelles sont les conditions à remplir pour distribuer la lumière.

Voici comment on peut y arriver : soit un brûleur quelconque, après l'avoir mis dans des conditions de bonne marche, comme régularité et comme dépense de charbon, on mesure, à l'aide d'une boussole, son intensité, ce qui est très facile : on a ainsi une intensité I, exprimée en ampères ; d'autre part, avec un galvanomètre à fil fin, on a la chute de potentiel, c'est-à-dire la force électro-motrice E. Nous savons, d'autre part, que $\frac{EI}{g}$ donne le nombre de kilogrammètres d'après la loi de Joule ; donc, pour obtenir une lumière d'intensité déterminée, nous savons immédiatement par cette simple opération, le nombre de kilogrammètres qu'il faut dépenser.

D'après le tableau de M. Géraldy, vous voyez qu'il y a des lampes qui marchent par courants continus, et d'autres par courants alternatifs. A moins d'admettre qu'on établisse dans la rue plusieurs canalisations, ce qui est difficile, il ne faut compter que sur une seule, à cause du prix élevé de son établissement. Étant donné un conducteur, il ne peut pas y circuler simultanément deux modes de courants différents. Ensuite, on peut admettre qu'un particulier aura besoin d'un courant d'une intensité égale à I, avec une force électro-motrice E, il faut une somme de courants qui, étant divisée par le nombre de particuliers, donne une chute de potentiel e, parce que dans chaque maison, on ne se sert que d'une partie du courant qui doit être continu ou alternatif, suivant les besoins.

Il s'ensuit qu'il faut des appareils de transformation de courant, et il faut pouvoir changer le courant Ie venant de la conduite en Ei ; chez le particulier, ces courants sont différents, les uns sont à grande intensité et à petite différence de potentiel, les autres, à grande différence de potentiel et à petite intensité.

Parmi les appareils de transformation proposés, nous avons la pile Faure, la pile Planté, qui peuvent transformer un courant de force électro-motrice en un autre, mais elles ne donnent pas la solution du courant alternatif, à moins d'employer un commutateur, ce qui n'est pas un procédé pratique, car un commutateur produit des étincelles qui le brûlent très rapidement. Cela est possible, mais non avantageux.

Cette transformation de courants à l'aide des piles secondaires a été proposée par M. Marcel Deprez qui a très bien résolu le problème de la distribution d'électricité.

La distribution d'électricité peut, d'après cet électricien éminent, être effectuée soit par courants dérivés, soit par courants de tension. Supposez une machine électrique desservant des abonnés, on peut transporter l'électricité de deux façons : ou bien par des conducteurs continus partant de l'usine et suivant tout le parcours qu'il s'agit de desservir, une dérivation convenablement établie permet alors de donner à chacun la quantité d'énergie électrique dont il a besoin, ou bien encore par un conducteur unique passant successivement chez chacun des particuliers.

On peut, à l'aide d'une quelconque de ces deux méthodes, distribuer l'énergie électrique et assurer le service.

Dans le premier de ces deux cas, M. Deprez a démontré qu'on pouvait supprimer un nombre quelconque des dérivations, sans que les abonnés restants reçoivent plus ou moins de ce qui leur est alloué. Cela se déduit de ce fait que si, dans un circuit à dérivations on en supprime un certain nombre, la résistance totale du circuit augmente, et, conséquemment, la machine électrique de l'usine qui est à surexcitation, s'excitant moins dépense moins de travail et donne un courant toujours proportionnel au nombre de dérivations existantes ou d'abonnés à desservir.

Dans le second cas, c'est-à-dire, lorsque les conducteurs souterrains passent chez les particuliers, M. Deprez dispose sur le circuit inducteur de la machine électrique de l'usine une dérivation convenable qui fait que, dans le cas où des abonnés ne se servent pas de courant, la surexcitation diminue proportionnellement et l'intensité ne change pas chez les consommateurs qui continuent à s'en servir.

Je ferai remarquer que, de ces deux solutions, il n'y en a qu'une seule qui soit pratique. L'une suppose que la conduite générale de la ligne entre chez chaque consommateur ; et si un accident survenait, toute la ligne en souffrirait et en subirait la conséquence. Ce serait aussi absurde que de faire passer, chez les particuliers, la conduite générale du gaz.

Je crois que, pratiquement, il n'y a que l'autre solution qui puisse être employée. Comme vous le voyez, on peut supprimer un ou plusieurs abonnés, sans rien déranger dans le système public.

Je vais vous dire ce qui dérive des expériences de M. Becquerel, pour montrer que les lampes comme celles de MM. Edison, Swan, Maxim et Lane Fox, ne sont pas économiques ; je crois qu'il vaut mieux brûler un peu de charbon dans les lampes que d'en brûler beaucoup dans les ma-

chines à vapeur. M. Becquerel a chauffé de la magnésie à une température de 500° ; à ce moment-là, la température est suffisante, pour que le bloc calcaire devienne lumineux, c'est le rouge naissant, et il a pris cette lumière émise comme unité photométrique. S'il chauffe le même bloc du double, il dépense alors le double de calories, en le portant à 1,000°, et la lumière émise est égale à 100 fois l'unité. En chauffant à 1,500°, il en a 10,000, et en chauffant à 2,000°, 100,000 unités, d'où il résulte que la lumière croît très rapidement en fonction de la température.

M. Géraldy disait que l'arc voltaïque était le plus avantageux au point de vue de la lumière. En effet, il a été mesuré par M. Rossetti qui a trouvé que la température était de 3,500° environ. L'arc par lui-même n'est pas lumineux, on voit la partie qui sépare les charbons se teindre en violet, tandis que les pointes des charbons sont incandescentes. C'est donc à l'incandescence des charbons qu'est due l'émission de la lumière, et en vertu des expériences de Becquerel, la lumière émise par un corps chauffé à 3,500° est proportionnellement supérieure à celle obtenue par une température de 2,000° seulement.

Dans les lampes incandescentes dans le vide, on ne peut pas arriver à cette température excessive, parce que le charbon devient cassant à cette température ; les fils conducteurs qu'on emploie s'échauffent eux-mêmes, quoique en platine, et fondent rapidement.

Dans ces lampes, en effet, il y a deux fils métalliques très fins qui amènent le courant et qui sont fixés à l'aide d'une double soudure dans le verre de la lampe. Toute espèce de joint, à l'aide de rondelles, laisse toujours passer l'air; il n'y a que par cette méthode-là qu'on empêche l'air d'entrer et qu'on peut maintenir le vide. On est forcé d'avoir des soudures et du métal. Si le métal est gras, il arrive qu'au moment du refroidissement de l'appareil, la soudure se casse et le verre se brise. On prend alors un métal mou, du platine très pur ou bien du cuivre rouge en fils très fins, de telle façon que le verre, en se contractant, par suite du refroidissement, a la force suffisante pour venir à bout de la dilatation du cuivre ou du platine, et ne se brise pas. On ne peut pas employer de conducteur très gros dans les lampes à incandescence dans le vide.

Il peut se présenter d'autres cas. Il arrive que, le charbon s'échauffant quand la température croît, le fil métallique qui le porte étant fin, finit par s'échauffer lui-même ; quand il atteint 200 degrés, la soudure se détériore, l'air entre et fait éclater la lampe. J'ai été témoin de l'explosion de ces lampes survenue en portant le charbon à une température plus grande, et un appareil qui donnait habituellement environ 1 ou 2 becs Carcel, en a donné, dans l'expérience, 80.

C'eût été très avantageux, c'était un résultat supérieur à l'arc voltaïque, mais les lampes firent explosion.

Mais, quand même il n'y aurait pas explosion, sous l'influence d'une haute température, les fils se désagrègent à la longue, les attaches se

détériorent, les fils des charbons se cassent et la lampe est mise hors de service. Ce système serait très avantageux au point de vue du rendement, si l'on pouvait atteindre une température très notable. Je ne crois pas que la température du charbon dépasse 1,500°. Entre 1,500 et 3,000 qu'on obtient dans l'autre cas il y a de la marge; cela produit ce que je disais tout à l'heure, c'est qu'on ne dépense pas de charbon dans la lampe à incandescence dans le vide, mais dans la machine à vapeur on en dépense beaucoup plus proportionnellement à la lumière obtenue, car, pour quatre lampes de ce genre d'une intensité de trois becs Carcel, il aut un cheval-vapeur. On peut bien, avec cette même force, en faire marcher 10, 12 et même 15, mais on n'obtient pas alors un bec Carcel par chacune d'elles. Admettons cependant qu'on l'obtienne, cela ferait 15 becs Carcel par cheval; c'est peu, la moindre lampe d'un autre genre donne plus que cela. Avec la lampe Reynier, on obtient 60 becs Carcel par cheval, au lieu de 10 ou 15. Les lampes à vide ont leur place dans beaucoup de cas où on ne s'inquiète pas de la dépense, mais enfin, elles ne sont pas économiques.

M. le Président. Quelles sont, parmi ces lampes, celles qui peuvent donner individuellement des pouvoirs éclairants de 12 à 15 carcels en moyenne?

M. Napoli. Ce sont les lampes Reynier.

M. Géraldy. La lampe Edison pourrait certainement donner 12 becs par cheval.

M. Napoli. C'est toujours inférieur aux lampes à incandescence dans l'air qui donnent 30 becs au minimum.

Maintenant, je crois qu'il reste quelque chose à dire sur la lampe-soleil : c'est la seule qui ait l'arc voltaïque sans en avoir les inconvénients. C'est un arc voltaïque qui se produit entre deux charbons qui buttent sur un bloc de chaux ou de magnésie; on a la fixité de la lumière Drummont et en même temps le peu de dépense que comporte l'arc voltaïque. Cette lampe peut affecter toutes les positions.

M. le Président. Il y en a même qui sont placées dans la position verticale.

M. Napoli. C'est bien l'arc voltaïque qui, par son extrême température. rend la chaux incandescente.

Dernièrement, ces Messieurs ont produit des lampes pour le foyer de l'Opéra, elles n'ont aucun ressort et peuvent se mettre dans tous les sens; elles sont à l'abri de l'air et renfermées dans une boîte métallique qui porte un bloc de marbre. Sur le côté, il y a deux conduits latéraux qui avancent à droite et à gauche, de façon à supporter le charbon. On fait descendre le charbon dans cette cavité latérale Il y a donc, au moment où la lampe commence à fonctionner, un arc voltaïque qui éclate entre les charbons; la chaux est échauffée par l'arc, et devient incandescente. L'air ayant peu d'accès, ces charbons brûlent lentement. Leur section est de 1 centimètre carré; ils brûlent à raison de 1 centimètre à l'heure. En-

suite, la chaux devient suffisamment conductrice, pour permettre des arcs de grande longueur. On a remarqué que, lorsqu'il n'y avait plus de charbon sur une grande longueur, l'arc s'était allongé; ce qui a permis de faire des blocs de charbon très gros et très courts. Ces Messieurs ont fait une simple boîte bouchée à la partie supérieure par un couvercle portant deux blocs de charbon énormes qui viennent s'appuyer sur un bloc de marbre. Ils ont employé toute espèce de matières: la chaux, la magnésie, etc.

Les lampes-soleil peuvent être placées dans toutes les directions. Les charbons s'usant, l'arc s'allonge, et ils peuvent aller jusqu'au bout. La lampe, une fois amorcée, continue à brûler; on peut faire marcher une lampe vingt heures.

Ces lampes sont très commodes pour les locomotives, puisqu'on peut les mettre dans tous les sens. Elles servent à éclairer le plafond du foyer de l'Opéra. Elles sont à courants alternatifs?

M. Hamers fait observer que la *lampe-soleil*, au lieu d'être classée dans la même catégorie que la bougie Jablochkoff, pourrait à elle seule former une division spéciale. Plusieurs personnes ont pu croire que le principe de cet appareil est le même que celui de la bougie Jablochkoff; il n'en est point ainsi. La lampe-soleil est une lampe à arc voltaïque. Elle offre la particularité suivante: elle procure les avantages que permet l'arc voltaïque, sans l'inconvénient qui a été souvent reproché à celui-ci.

Chacun sait que cet inconvénient est le manque de fixité, de régularité; dans la lampe-soleil, ce défaut est évité; une rigole droite est pratiquée sur le bloc de matière réfractaire dans lequel se logent les charbons, et s'étend d'une pointe à l'autre; l'arc voltaïque, qui se produit dans cette rigole, est par elle rendu rectiligne et parfaitement régulier.

Le premier avantage de l'arc voltaïque est ici, comme dans beaucoup d'autres brûleurs, de donner une lumière plus économique (à puissance égale) que celle des lampes à incandescence. Mais, dans la lampe-soleil, intensité lumineuse et économie sont augmentées considérablement par l'effet que produit l'arc voltaïque sur le bloc porteur des charbons : ce bloc s'échauffe, devient incandescent et fortement lumineux.

On voit que la lampe-soleil constitue une combinaison de l'arc voltaïque et de la lumière de Drummond.

Il convient d'ajouter que, contrairement à ce que croyait l'éminent conférencier qui nous en a parlé tout à l'heure, la lampe-soleil peut se placer et fonctionner dans toute sorte de positions.

M. le Président. L'heure est avancée, nous nous donnerons rendez-vous pour deux heures, à l'Exposition. Avec la classification si bien présentée par M. Géraldy, nous serons parfaitement guidés pour visiter tous les appareils d'éclairage électrique. Donc, à deux heures, devant le phare.

La séance est levée à onze heures quarante-cinq!

Notes sur les 9e et 10e visites. Éclairage électrique.

Serrin. — On peut comparer dans l'exposition de ce savant constructeur les lampes primitives avec les derniers modèles perfectionnés, et suivre tous les intermédiaires par lesquels on a dû passer. La lampe Serrin a été employée très longtemps pour l'éclairage des phares. Dans l'exposition de M. Serrin on remarque une lampe de plongeur pour les recherches sous-marines. Cette lampe consiste en un régulateur enfermé dans une boîte en fonte surmonté d'un abat-jour en tôle, fixé à la boîte au moyen de solides boulons. La force motrice nécessaire au mouvement des crayons est produite par le poids du portecrayon supérieur et de ses garnitures, qui en descendant agissent sur une série d'engrenages. La descente n'est pas régulière elle varie avec l'angle que fait la tige avec la verticale.

Pour appliquer ce système à des usages maritimes, M. Serrin a imaginé une lampe dans laquelle le poids du crayon supérieur est équilibré, la force motrice provient d'un ressort qui n'est affecté ni par le tangage, ni par le roulis du navire qui porte l'appareil.

Lampe Pilsen.— Ce régulateur « *Pilsen* » du nom de la ville où il a été inventé est dû à Messieurs Piette et Krizik. — La particularité réside dans le moyen de régulariser l'arc voltaïque suivant l'intensité du courant.

Le portecrayon supérieur consiste en un tube de cuivre qui par l'intermédiaire d'un système de cordes et de poulies règle la position du crayon inférieur. Ce tube de cuivre passe verticalement à travers deux bobines; dont l'une est faite de gros fils formant partie du courant qui alimente la lampe, et l'autre de fil fin ; cette dernière est un peu au dessous de la précédente. Dans le tube se trouve placé un noyau en fer doux comprenant : deux cônes allongés réunis par leurs bases ; lorsque la lampe fonctionne l'arc étant à longueur normale, le tube de cuivre se trouve, par rapport aux deux solénoïdes, dans une position telle, que la partie du cône supérieur du noyau de fer qui est dans l'hélice du solé noïde supérieur correspond à la partie du cône qui se trouve dans l'hélice supérieure. Lorsque l'arc s'allonge, la force du courant diminue, l'influence attractive du solénoïde inférieur augmente, tandis que celle du solénoïde supérieur diminue ; le cône et le tube descendent, de sorte que les charbons se sont rapprochés ; au contraire si l'arc diminue l'inverse se produit. La forme conique du noyau régulateur est le propre de cette lampe ; car selon que

ce cône monte ou descend la masse de fer dans l'intérieur de l'une ou de l'autre des bobines varie, et fait augmenter ou diminuer l'influence magnétique dans les mêmes proportions.

L'adoption de la forme biconique fait en sorte que l'influence des deux solénoïdes sur le noyau de fer, varie en sens inverse ; puisque l'un augmente dans les mêmes proportions que l'autre décroît.

Les sociétaires ont vu fonctionner six de ces lampes, qui éclairent le grand escalier. Le courant était produit par une machine Schuckert.

Siemens. — Ces messieurs exposent un grand nombre de régulateurs dites *Lampes différentielles.* — Ces lampes sont alimentées par des machines à courants alternatifs; et ont l'avantage de pouvoir se placer au circuit de 6 à 8.

Lampe Soleil. — Cette lampe est due à MM. Clerc et Bureau. Elle comprend un bloc réfractaire en chaux, marbre ou grès présentant sur une de ses faces une cavité que deux charbons viennent affleurer, les deux charbons traversent le bloc par deux conduits cylindriques inclinés. — Les charbons portent des vis qui servent à l'attache des fils conducteurs. Lorsque le courant passe, l'arc jaillit entre les pointes des deux charbons, lèche la cavité pratiquée dans le bloc, l'échauffe, la porte à l'incandescence, des rayons lumineux prennent naissance et s'échappent en suivant les parois de la cavité. — La lampe est disposée pour éclairer de haut en bas, de sorte que les charbons descendent simplement sous l'influence de leur poids; pour avoir une longueur d'arc constante il faut produire l'usure égale des charbons, ce qui nécessite l'emploi de courants alternatifs. L'inconvénient de ces courants est de produire des ronflements désagréables que l'on atténue en plaçant la lampe sous un globe. — Les avantages de cette lampe paraissent être la fixité de sa lumière, sa coloration et l'immobilité de son point ou plutôt de sa surface lumineuse : — Les charbons employés peuvent être d'un diamètre assez gros, ce qui permet d'atteindre d'assez grandes durées d'éclairage. On compte qu'avec des crayons demi cylindriques de 10 millimètres de rayon l'usure par heure est de 10 millimètres ; la lampe employée à l'Opéra lors des essais de l'éclairage du plafond du foyer avait des charbons en forme de parallélipipède de (20 × 20 × 40) millimètres et duraitsix heures. Le grand inconvénient de cette lampe réside dans l'emploi du bloc calcaire ; sous l'influence de la haute température développée ce bloc perd de sa cohérence et doit être remplacé après quelques rallumages. On a proposé de substituer au calcaire la magnésie agglomerée qui est plus résistante mais qui à le désavantage de blanchir la lumière.

Quelques expériences ont montré que l'on peut compter comme rendement lumineux sur 52 becs Carcel pour foyer de 11 millimètres au nombre de 12.

Cette lampe est peu économique, elle peut rendre de bons services

dans quelques cas spéciaux notamment dans l'éclairage des salles de peinture et encore dans ce cas y a-t-il lieu de faire quelques réserves.

Jaspar. — Les lampes Jaspar éclairent la salle 15 des galeries du premier étage. Elles sont au nombre de trois. Chaque lampe est enfermée dans une boîte cylindrique opaque suspendue par quatre tiges cylindriques en cuivre au bord d'un grand écran circulaire recouvert d'une couche de peinture d'un blanc mat formant réflecteur.

L'emploi de ces écrans donne une bonne répartition de la lumière dans la pièce, la boîte opaque évite de percevoir les scintillements de l'arc.

La lampe comprend : un portecrayon inférieur en fer formant noyau d'une hélice magnétique du circuit ; cette hélice réglemente la longueur de l'arc; le mouvement du portecrayon supérieur est dépendant de celui du crayon inférieur auquel il est lié par un ensemble de cordes et de poulies.

Ces régulateurs sont monophotes, c'est-à-dire qu'ils exigent une machine dynamo-électrique par appareil.

Lampe Brush. — Les lampes de M. Brush se placent en grand nombre sur un même circuit; on peut aller jusqu'à 40; pour assurer l'indépendance de chacune d'elles elles sont construites sur le principe différentiel; et en cas d'accident, pour éviter l'extinction de tous les appareils d'un même circuit, un ingénieux appareil automatique met la lampe en dehors du circuit.

Les lampes peuvent brûler vingt-quatre heures sans qu'on ait besoin de renouveler les charbons. — Les lampes Brush exigent de fortes tensions, ce fait les place au point de vue pratique dans de mauvaises conditions, leur manœuvre ne pouvant se faire que par un personnel très exercé.

On admet que le rendement lumineux de chaque appareil est de 75 carcels.

Werdermann. — Le système Werdermann est déjà ancien, nous ne croyons pas utile de nous y arrêter bien longtemps. A l'Exposition ce système est représenté par quelques appareils disposés dans la salle à manger et dans la salle de spectacle. La rampe de la scène est constituée par six lumières Werdermann, la salle est éclairée par un candélabre de douze de ces lumières.

Jablochkoff. — La bougie Jablochkoff comprend deux charbons réunis par une matière inerte servant de conducteur à l'arc. — Dans les premiers essais la matière employée était du kaolin, cette substance présentait quelques inconvénients, elle fondait dans l'arc voltaïque, absorbait de la chaleur et diminuait l'intensité lumineuse. Après quelques essais on a remplacé le kaolin par un mélange de sulfate de chaux et de sulfate de

baryte. — Quelle est l'utilité du colombin? On a longuement discuté, et à la suite d'expériences nombreuses on a reconnu qu'avec ou sans colombin la quantité de lumière donnée par une bougie était la même ; l'avantage du colombin était de réduire la force électro-motrice. — Pour obtenir l'allumage de la bougie on se sert d'une amorce, formée d'un mélange de gomme et de plombagine. On cherche actuellement à diminuer la rapidité de combustion des charbons; on y est arrivé en recouvrant les charbons d'une pellicule métallique infiniment mince de cuivre ou de nickel; dans ces conditions la bougie perd un peu de sa fixité.

Au début de l'exploitation du système Jablochkoff la bougie de deux heures revenait à 0 fr. 75, actuellement, grâce aux perfectionnements de fabrication, le prix en est réduit à 0 fr. 30.

L'exposition Jabochkoff comprend quelques types de chandeliers automatiques; il convient de citer spécialement le chandelier à dilatation avec commutateur automatique à mercure.

Debrun. — La bougie Debrun consiste en deux crayons de charbon verticaux parallèles sans adjonction de substance isolante, cette bougie possède la faculté de pouvoir se rallumer automatiquement. Pour cela un petit crayon de charbon horizontal est relié à l'armature d'un aimant qui fonctionne quand le courant cesse de passer, à ce moment le crayon est poussé contre les charbons, rétablit le courant, l'arc jaillit et l'aimant retire le rallumeur.

Wilde. — La bougie Wilde se compose d'un support sur lequel sont placés les deux charbons et d'un électro-aimant agissant pour produire l'écart au début de la marche. — Lorsque le courant ne traverse pas l'appareil les crayons ont leurs pointes en contact, l'un d'eux est vertical l'autre un peu oblique. — Dès que le courant passe l'électro-aimant attire une armature, celle-ci écarte les crayons les rend parallèles, l'arc jaillit. Si on arrête le courant, l'électro-aimant n'agissant plus, les pointes se remettent en contact, l'appareil est prêt pour un nouveau rallumage.

Jamin. — La bougie Jamin comprend trois charbons. — Un cadre métallique porte un certain nombre de ces bougies, ce cadre est entouré d'un certain nombre de tours de fils faisant partie du circuit, ces fils forment comme une bobine, les courants de cette bobine attirent l'arc qui devient allongé et présente une surface lumineuse plus fixe et plus grande. — Un grand nombre de brûleurs Jamin sont installés; nous citerons spécialement une rampe de 60 bougies disposée au-dessus de la halle des moteurs, qui n'absorbe que 20 chevaux pour son fonctionnement au maximum d'intensité.

Maxim. — La lampe Maxim comme celle de Swann ou d'Edison consiste en un filament de charbon préparé sous forme de boucle et enfermé

dans un globe de verre d'où l'air a été enlevé, et qui devient incandescen quand on fait passer le courant.

M. Maxim a donné des formes variées au filament de charbon, celle qui a donné des meilleurs résultats paraît être la forme en M.

La lampe de Maxim diffère de la lampe Edison ou Swann par la manière de préparer le charbon, et par la nature du vide pratiqué dans la boule. M. Swann laisse de l'air confiné dans l'enceinte où se produit l incandescence, M. Maxim y introduit un petit volume de gazoline dont l'effet est d'augmenter la durée des filaments. — Pour produire son conducteur charbonneux, M. Maxim convertit une bande de papier en un filament de coke de gaz en le maintenant incandescent dans une atmosphère de gazoline. — Des expériences faites en Angleterre il semble résulter que un cheval vapeur donne 115 à 140 bougies.

Edison. — Le système proposé par M. Edison et installé complètement à l'Exposition il comprend tout un ensemble d'appareils qui se résume ainsi : un générateur électrique fournissant des courants de haute tension ; des conducteurs électriques de haute conductibilité qui servent à débiter l'énergie électrique aux lampes. — La machine dynamo-électrique et les conducteurs ont été examinés dans une visite précédente.

La lampe comprend un filament de charbon de $0^m,12$ de longueur, ayant une section transversale de 1 millimètre carré. Les extrémités renforcées sont maintenues dans des emboîtements reliés à des fils de platine scellés dans les globes, globes dans lesquels on a fait le vide.

Edison prépare son charbon de la manière suivante : Il prend de petites bandes de papier Bristol ayant 0,05 de largeur sur 0,003 d'épaisseur, il les découpe à l'emporte-pièce en forme de fer à cheval et les place à l'intérieur d'un creuset en fer forgé, il chauffe le tout au blanc dans un four à reverbère. Le papier se décompose, il reste le filament charbonneux employé dans la fabrication des lampes.

Swan. — Ces lampes sont très répandues dans l'exposition anglaise. Elles éclairent la salle du congrès.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Résumé paraissant les premier et troisième vendredis de chaque mois.

SÉANCES - VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

PROCÈS-VERBAL DE LA 10e SÉANCE

tenue le Mardi, 8 Novembre 1881

au Siège de la Société.

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU

La séance est ouverte à 9 heures et demie du matin.

M. LE PRÉSIDENT. La séance d'aujourd'hui, est consacrée, d'après l'ordre du jour à des communications sur le téléphone, le microphone et l'organisation des réseaux téléphoniques.

La parole est à M. Berthon qui a bien voulu se charger de traiter ces matières.

M. BERTHON. Messieurs, la disposition la plus généralement employée pour les téléphones et la plus connue est celle que Graham Bell a inventée.

Cet appareil se compose d'un diaphragme de 65 millimètres de diamètre, d'un barreau d'acier aimanté dont le diamètre est égal au vingtième environ de sa longueur (c'est la proportion généralement donnée aux aimants); une bobine coiffe l'une des extrémités du barreau, celle qui est placée en regard du diaphragme. Le tout est contenu dans une boîte en ébonite ou toute autre matière peu susceptible de déformation sous l'influence des changements de température. Construit avec soin, le téléphone Bell donne des résultats aussi satisfaisants que la plupart des téléphones dans lesquels on a varié la forme de l'aimant en vue d'obtenir des résultats supérieurs comme intensité de son.

Nous allons passer en revue les différentes formes d'aimant qui ont été essayées par les constructeurs et examiner quel est le bénéfice obtenu lorsqu'on a varié, soit la forme de l'aimant, soit la dimension du diaphragme, soit la matière de la boîte.

Les modifications du téléphone Bell, qui aux États-Unis ont eu le plus

de succès pendant un certain temps, sont celles que Phelps, un constructeur bien connu, y a apportées.

Le téléphone Phelps à tabatière se compose d'un aimant rectangulaire ajouré, sur les petits côtés duquel sont placées deux bobines (40 ohms de résistance chacune), à noyau de fer doux qui correspondent chacune à un diaphragme suspendu sur de petits ressorts à boudin en laiton. C'est un bon téléphone, surtout fort commode à la main, mais la forme elliptique donnée au boîtier avait l'inconvénient de le rendre fort cher, de plus l'aimant ne conservait pas longtemps sa force.

Cette disposition fut bientôt abandonnée pour une forme plus heureuse qui constitue l'un des meilleurs téléphones qu'on ait jamais construits, celle du crown téléphone de Phelps ou téléphone à couronne, mais qui en faisait un instrument trop lourd et surtout trop compliqué de fabrication pour que, malgré sa supériorité comme intensité de son, son emploi ait pu se généraliser.

Ce téléphone se compose de six aimants circulaires dont les pôles de même nom sont fixés à un noyau central de fer doux entouré d'une bobine à laquelle on donnait 90 ohms de résistance, cette bobine agissant sur un diaphragme dont les dimensions plus considérables que celles du téléphone Bell ordinaire, mesuraient $0^{m},075$ de diamètre.

Les pôles de nom contraire étaient mis en communication avec le bord extérieur du diaphragme par six pièces de contact, le diaphragme formant ainsi une véritable armature aux six aimants.

Le téléphone Crown avait un moyen de réglage permettant de lui donner le maximum de sensibilité.

On a essayé également, dans le but d'augmenter l'intensité des sons, de faire un récepteur composé de deux téléphones Crown juxtaposés avec une embouchure bifurquée agissant sur les deux diaphragmes, mais cette disposition n'a pas donné des résultats pouvant motiver l'accroissement de prix et de poids.

Poursuivant ses essais, Phelps est arrivé à une forme de téléphone excessivement simple dérivée de son crown-téléphone et qu'il a appelée le pony-crown. Cette instrument se compose d'une boîte en ébonite beaucoup plus légère et d'un seul aimant de forme circulaire auquel on a donné des dimensions un peu plus fortes que celles du crown ; sur l'un des pôles est fixée la bobine destinée à agir sur le diaphragme. Ce modèle de téléphone, en raison de son bas prix, de la simplicité de sa construction est un des plus répandus aux États-Unis où on le fabrique dans des conditions de bon marché encore plus grandes, depuis qu'un français, du nom de Rousseau, a imaginé pour les boîtes une composition meilleur marché. plus isolante même que l'ébonite et complètement inaltérable à l'action des variations ordinaires de température.

Cette composition est formée d'un mélange de talc en poudre et de gomme laque dissoute dans l'alcool. On additionne le tout de noir de

fumée pour rendre la matière d'un beau noir et on comprime dans des moules chauffés au gaz, pour lui donner la forme des boîtes.

M. Elisha Gray a disposé un téléphone qui appartient comme le téléphone tabatière de Phelps, à la catégorie des téléphones à deux diaphragmes. On lui a donné le nom de téléphone bipolaire, parce que, dans ce téléphone, les deux pôles de l'aimant agissent sur deux diaphragmes distincts. Un pavillon ou embouchure, qui se bifurque de manière à frapper directement le centre de chaque diaphragme, permet d'utiliser l'action des pôles sur chacun d'eux.

L'expérience a démontré que ces dispositions à double diaphragme, généralement coûteuse de construction, sont loin d'accroître dans une proportion sensible les effets de renforcement que l'on cherche à obtenir, aussi sont-elles aujourd'hui presque complètement abandonnées.

En France, M. Gower, préoccupé de la question de rendre le téléphone magnétique un instrument réellement pratique en renforçant les sons qu'il était susceptible de reproduire, a pensé en augmentant considérablement les proportions de l'aimant, qu'il arriverait à faire parler le téléphone plus haut.

Ce point de départ l'a conduit à construire l'instrument qui porte son nom dans lequel il fait agir, en les rapprochant l'un de l'autre autant que possible, les deux pôles de l'aimant au centre du diaphragme.

Il est aussi le premier qui ait songé à employer comme boîte une cuvette en laiton.

Il est incontestable que la forme heureuse donnée par M. Gower à son téléphone, que l'intensité des sons produits en raison des dimensions du diaphragme, de la puissance de l'aimant, de la nature métallique de la caisse, ont largement contribué à répandre l'usage du téléphone.

Si nous ajoutons que cet instrument porte une anche capable de reproduire à des distances même considérables un signal d'appel suffisant, on conçoit la vogue qu'un tel appareil a eu et possède encore dans les cas où on veut éviter l'emploi des piles.

Avant M. Gower, MM. Siemens et Halske en Allemagne, avaient combiné un téléphone dans lequel l'aimant avait la forme d'un fer à cheval de manière à utiliser l'action des deux pôles sur le diaphragme.

Ce système était également pourvu d'un moyen d'appel consistant en une anche pouvant imprimer au diaphragme des vibrations très fortes qui étaient reproduites au poste d'arrivée. Nous croyons que c'est ce système qui a conduit M. Gower à l'idée du sien.

Ce téléphone est presque le seul employé en Allemagne ; c'est un des plus puissants qu'on ait imaginés.

Pour les distances qui ne dépassent pas 4 ou 5 kilomètres et sur de bonnes lignes, il présente, comme le téléphone Gower, l'avantage de pouvoir être employé comme appareil transmetteur et récepteur.

Les qualités d'intensité de son de ces deux appareils similaires sont dues aux dimensions de l'aimant et du diaphragme, qui, à raison de sa

grandeur, donne des vibrations plus étendues et par conséquent plus graves. Les sons rendus sont peut-être moins nets, mais comme la cuvette participe aussi aux vibrations du diaphragme, l'instrument tout entier a un timbre particulier et les sons se trouvent considérablement renforcés.

Le téléphone de M. Fein est un téléphone qui, comme celui de MM. Siemens et Halske, utilise les deux pôles de l'aimant, mais il s'en distingue en ce que les noyaux des bobines consistent en un grand nombre de fils de fer isolés entre eux; de cette façon, le changement de magnétisme produit par les vibrations du diaphragme s'opèrent plus rapidement, augmentant aussi l'effet d'induction. Les noyaux ont la forme d'un segment de cercle.

M. Ader, dans le but de renforcer les sons, est le premier, je crois, qui ait songé à l'emploi d'un diaphragme en bois mince. Cet emploi l'a conduit à la construction de son récepteur dit à pôles conjugués, qui parle effectivement très haut et même assez nettement, quand on arrive à le régler convenablement; mais ce réglage est difficile à conserver, à raison des propriétés hygrométriques du bois, aussi a-t-il dû renoncer à cette disposition comme téléphone articulant; il vient cependant d'en faire une application intéressante à l'Exposition internationale d'électricité en employant à l'exécution de ses fanfares de cors de chasse que tout le monde a pu entendre et qui alternent avec les auditions téléphoniques théâtrales.

Dans ce téléphone, c'est sur une armature très légère fixée au diaphragme en bois, que les deux pôles de l'aimant, très rapprochés l'un de l'autre, viennent agir. Le bois par sa nature même, présentant une plus grande élasticité que le métal, donne lieu à des vibrations plus graves qui font que l'instrument parle plus haut, mais moins clairement.

Je citerai ici pour mémoire un instrument, le téléphone Righi, fondé sur le principe de diaphragmes de grandes dimensions.

Le diaphragme en papier parchemin de 15 centimètres de diamètre environ porte une armature métallique légère destinée à être actionnée par le pôle d'un aimant Bell.

La nature hygrométrique de ce diaphragme n'a jamais permis de tirer des résultats constants de ce système.

J'arrive enfin à la dernière forme que M. Ader a donnée au récepteur magnétique. Dans cette forme il a fait agir comme MM. Gower, Siemens et Halske, Fein, les deux pôles d'un aimant circulaire sur le partie centrale d'un diaphragme, mais il a renoncé aux grandes dimensions données à ce diaphragme dans le téléphone Gower, pour obtenir la netteté nécessaire. De plus, il a placé en avant de ce diaphragme un petit anneau en fer doux, dont l'action surexcitatrice sur les pôles de l'aimant est parfaitement démontrée à l'aide de l'appareil que M. Ader a construit tout exprès. L'effet de cet anneau surexcitateur s'explique en ce qu'il rend les lignes de force magnétiques de l'aimant perpendiculaires au diaphragme,

tandis que ces lignes sont plus divergentes et dirigées toutes suivant les rayons du diaphragme lorsque cet anneau n'existe pas.

Aussi les effets de ce récepteur sont-ils plus nets et plus remarquables ainsi qu'on a pu le constater dans les auditions téléphoniques théâtrales où on en a fait l'emploi.

Comme dans le téléphone Gower, le boîtier est en métal et la construction très soignée de toutes les parties contribue considérablement à lui donner les qualités qu'il possède.

Tous les récepteurs magnétiques que nous avons examinés jusqu'ici sont des appareils essentiellement réversibles, c'est-à-dire qu'en parlant devant le diapragme, les sons peuvent être transmis à un appareil analogue situé en un point quelconque du circuit, et réciproquement. Ils ont aussi la propriété de pouvoir être employés simplement comme récepteurs et, alors, la parole leur est communiquée par un appareil appelé transmetteur qui exige l'emploi d'une pile pour son fonctionnement.

Nous décrivons plus loin le principe des appareils transmetteurs. Le microphone et le téléphone à charbon.

Il existe une autre espèce de récepteurs, ce sont les récepteurs électrochimiques d'Edison, désignés sous le nom d'électromotographe, téléphone parlant à haute voix, ou motophone.

Dans ce genre d'appareil, Edison s'est préoccupé pour renforcer considérablement les sons émis, de faire intervenir une action mécanique, celle de la main ou d'un mouvement régulier quelconque, dont les effets viennent s'ajouter à ceux du courant agissant au point de départ.

Cet appareil est basé sur les principes suivants :

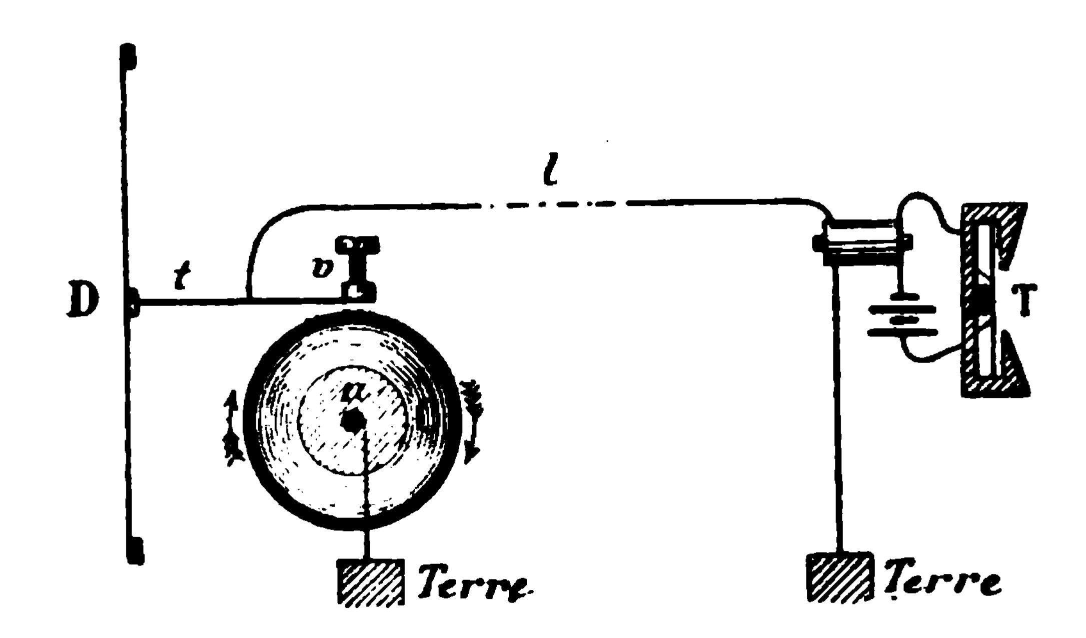
1° Le coefficient de frottement d'une lame métallique, reposent sur un cylindre imprégné de substance électro-liquide, varie suivant l'intensité du courant qui passe de l'un à l'autre.

2° La traction exercée par le cylindre en mouvement dépendra de l'énergie du courant et les vibrations des deux plaques récepteur et transmetteur seront synchroniques et en même nombre, mais l'amplitude de celle du récepteur dépend, en outre, de l'entraînement et d'une pression dont on est maître. Elles peuvent dépasser en intensité celles qui leur ont donné naissance.

La figure ci-jointe indique théoriquement la disposition du récepteur électro-chimique d'Edison.

Une tige métallique *t* sur laquelle on peut exercer une pression variable à l'aide d'une vis *v*, est reliée d'un côté au centre d'un diaphragme D de matière isolante, de mica, disposé de manière à pouvoir vibrer comme une membrane de téléphone, de l'autre, elle frotte à l'aide d'un contact de platine, sur la surface d'un cylindre C de craie agglomerée à la presse hydraulique pour lui donner une très grande dureté. Ce cylindre, en vue de lui communiquer une certaine conductibilité électrique, a été imprégné d'hydrate de potasse et d'acétate de mercure.

L'axe *a* sur lequel ce cylindre est monté est métallique et communique avec la terre tandis que la tige *t* qui frotte sur sa surface est en communication par un fil de ligne *l* avec un transmetteur à charbon T.



Si l'on parle devant ce transmetteur les vibrations de la plaque produisant des variations dans l'intensité du courant transmis par le fil de ligne *l* à la tige *t*; l'intensité de ce même courant, qui traverse la matière du cylindre pour se rendre, à la terre éprouvera les mêmes variations.

Si en même temps le cylindre est animé d'un mouvement continu de rotation dans le sens de la flèche, il entraînera par frottement la tige *t*, et le centre du diaphragme sera attiré également dans le même sens.

Mais comme le coefficient de frottement de la tige varie avec l'intensité du courant qui passe, il en résultera des déplacements du centre du diaphragme et par suite des vibrations de celui-ci qui seront synchroniques et en même nombre que celles de la plaque du transmetteur.

Comme aussi on est maître de la pression de la tige *t* sur le cylindre, les vibrations du diaphragme D pourront dépasser en intensité celles du diaphragme du transmetteur T.

Les résultats donnés par cet appareil, que M. Edison a perfectionné sous le nom de motophone, sont assez irréguliers, ce qui fait que son emploi n'est pas encore passé dans la pratique. Malgré les soins apportés à la confection des cylindres, ceux-ci s'usent assez rapidement et l'appareil est mis hors de service.

Cet instrument parle très haut mais l'articulation est loin d'être aussi nette qu'avec des récepteurs magnétiques.

Cependant on aurait tort, je crois, d'abandonner des recherches dans cette direction, qui semble, au contraire, celle dans laquelle les inventeurs devraient se lancer, parce que l'intervention d'une force mécanique quelconque serait d'une application facile, si son effet était de pouvoir renforcer les sons au point de ne plus nécessiter l'application d'un instrument sur l'oreille.

Nous avons dit que le téléphone magnétique de Bell était un instrument réversible et qu'à l'aide de deux appareils semblables, placés dans un même circuit, on pouvait, en parlant dans l'un des appareils, à l'une

des extrémités, entendre dans l'autre les sons transmis, et réciproquement.

Aux Etats-Unis, alors qu'on ne connaissait pas d'autres appareils que celui-là, on s'en servit pour organiser des réseaux téléphoniques dans de très nombreuses villes.

En France, le téléphone Bell a paru insuffisant, et, dès le début, on ne fonda pas grand espoir de pouvoir établir des communications téléphoniques pratiques avec ce seul instrument.

C'est ce qui donne l'idée, à M. Gower en France et à MM. Siemens et Halske en Allemagne, de rechercher si, en augmentant les dimensions de l'aimant et les proportions du diaphragme, on n'arriverait pas à donner au téléphone une grande puissance.

Effectivement, ces deux inventeurs sont arrivés à donner une plus grande intensité de sons à l'aide de leurs dispositions, mais cette intensité était obtenue au détriment de sa netteté et cela se comprend : en augmentant la dimension du diaphragme, les émissions de la voix ne pouvaient produire que des vibrations plus étendues sur le diaphragme, par conséquent, moins rapides, l'intensité du son était bien augmentée, mais le ton étant baissé en proportion des dimensions données au diaphragme, la voix était moins nette que dans les instruments primitifs à petit diaphragme.

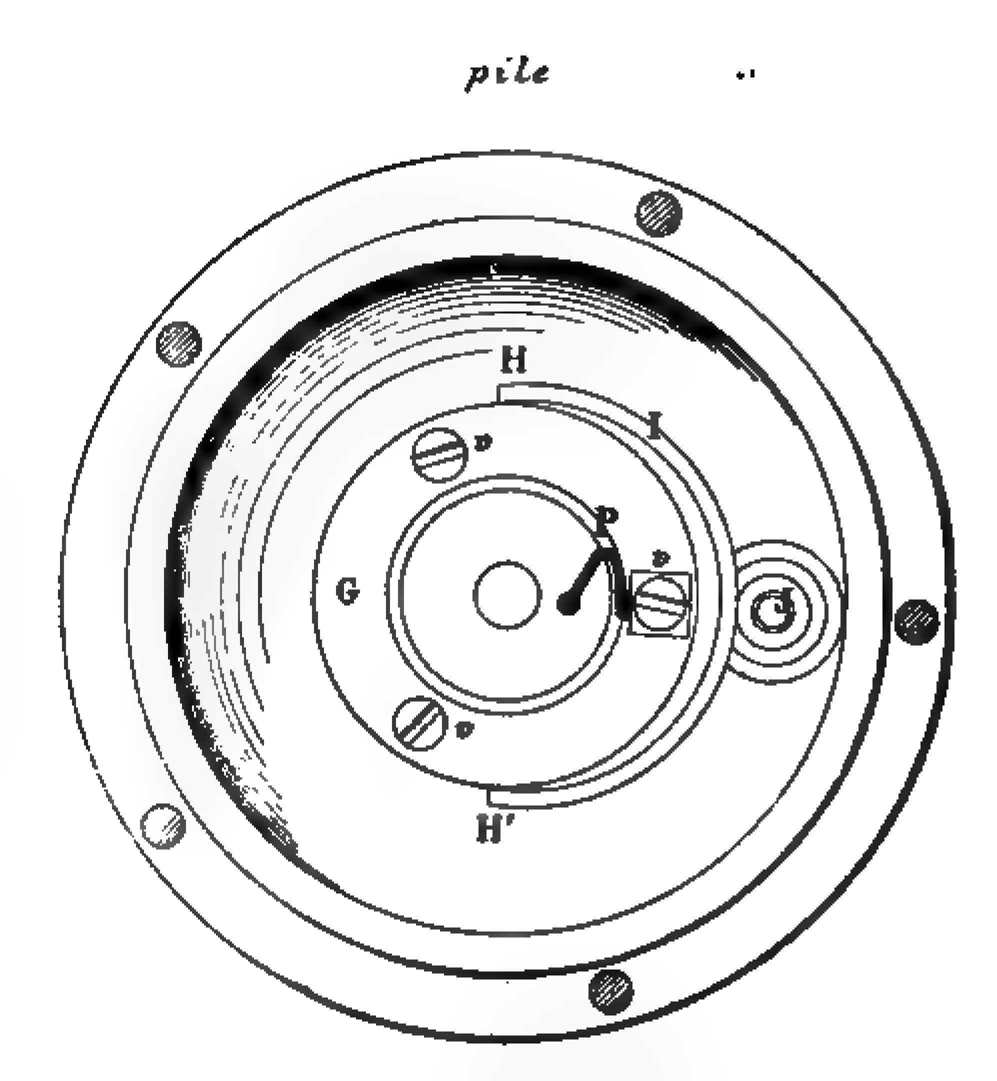
Néanmoins, comme les dispositions de MM. Gower, Siemens et Halske ont donné des résultats de netteté encore suffisamment grande, c'est avec ces instruments que les premiers réseaux téléphoniques ont été organisés en France et en Allemagne : la forme surtout du téléphone Gower était particulièrement heureuse, sa combinaison d'un moyen d'appel direct à l'aide du même instrument consistant en une anche fixée au diaphragme lui-même, contribua au succès de cet instrument qui est encore le téléphone magnétique le plus pratique, quand il s'agit de distances n'excédant pas 4 à 5 kilomètres, ou de communications à établir dans un même établissement industriel ou autre.

L'inconvénient des téléphones magnétiques dans les réseaux téléphoniques réside dans l'absence d'un moyen suffisant d'appel sans l'intervention d'une sonnerie électro-magnétique ou d'une sonnerie à pile.

M. Ader avait bien imaginé un système avertisseur à déclanchement très ingénieux qui a fonctionné pendant quelque temps dans les bureaux centraux de Paris, exploités avec le téléphone Gower, mais cet instrument était tellement sensible qu'on a dû y renoncer.

L'invention du téléphone à charbon d'Edison, bientôt suivie de celle des microphones, a fait abandonner presque complètement partout l'usage des téléphones purement magnétiques, puisque ces derniers, employés comme récepteurs dans les circuits téléphoniques, où l'on emploie des téléphones à charbon comme transmetteurs, donnent des résultats bien supérieurs à ceux qu'ils étaient capables de donner lorsqu'on les employait seuls.

Le fonctionnement du téléphone à charbon d'Edison est basé sur le principe suivant : Si l'on interpose entre deux surfaces conductrices un corps semi-conducteur tel que du charbon, du noir de fumée, du pétrole comprimé, et que l'on fasse passer un courant à travers ce corps semi-conducteur, la quantité qui passera dépend de la pression exercée par les



deux surfaces conductrices sur le corps interposé et il en passera une quantité d'autant plus grande que la pression sera plus forte.

Edison s'est servi de cette propriété pour construire son transmetteur

à charbon. Les différences de pression destinées à faire varier les quantités d'électricité qui passent dans le circuit, sont obtenues par les vibrations d'une membrane devant laquelle on parle, comme dans les téléphones magnétiques. Le plan et la coupe ci-dessus montrent le transmetteur Edison tel que le construit la société générale des téléphones de Paris.

A, boîte en bronze.

B, couvercle en fonte.

C, embouchure en ébonite.

D, diaphragme en tôle dont les bords sont fortement serrés entre le couvercle et la boîte.

E, porte-charbon et en même temps vis de réglage servant à donner au transmetteur le maximum de sensibilité sous l'action de la voix.

F, bague en ébonite sur laquelleest fixée, à l'aide de 3 vis V, une bague mince G en laiton ayant deux contacts en H et H' avec un ressort en laiton I (voir la figure en plan). De cette manière on peut faire monter ou descendre le porte-charbon sans que le ressort I qui à cet effet a une certaine hauteur cesse de toucher la bague Q aux points de contacts H et H'.

Le ressort I communique avec une borne J isolée de la masse de la boîte A par une petit cylindre d'ébonite K.

L, pastille de noir de pétrole aggloméré.

Ces pastilles se préparent en comprimant du noir de fumée de pétrole dans un moule d'acier à l'aide d'un balancier.

M, disque mince en maillechort. La surface inférieure de ce disque comme aussi la surface supérieure du porte-charbon est platinée pour assurer les contacts avec la pastille de charbon.

N, lentille en ivoire destinée à isoler le petit disque de la membrane vibrante D. P, petite bande découpée dans une feuille mince de platine, soudée à la fois sur la surface du disque M et sur la bague G de manière à établir une communication électrique entre les deux.

L'appareil étant ainsi décrit voyons comment il fonctionne lorsqu'il est traversé par le courant local, d'une pile de deux éléments Loclanché, dont l'un des pôles est attaché à la borne J et l'autre en communication avec la masse même de la boîte A et par conséquent avec le porte-charbon E.

Les vibrations de la membrane D résultant d'une émission de sons devant l'embouchure, se transmettront au disque M par la lentille N qui, par suite du réglage qu'il est nécessaire de donner, devra être presqu'en contact avec la membrane D.

Sous l'action de ces vibrations la pastille de noir de fumée se trouvera soumise à des pressions variables qui se succéderont comme les vibrations de la membrane d'autant plus longues ou plus rapides que les sons émis devant la membrane seront eux-mêmes plus graves ou plus aigus.

Le courant entrant je suppose par la borne J, suivra le ressort I, arrivera au disque par les deux contacts H et H'[1] en suivant la bande de platine et

il lui faudra traverser la pastille de charbon pour retourner par le porte-charbon à la masse de la boîte du transmetteur et de là à la pile.

L'intensité de ce courant, d'après le principe exposé plus haut, variera avec la pression exercée par le disque sur la surface de la pastille, c'est-à-dire comme les vibrations de la membrane D.

Si l'on suppose maintenant que ce courant d'intensité variable traverse le circuit inducteur d'une bobine d'induction d'une résistance déterminée (on donne généralement au circuit inducteur de cette bobine une résistance de 0,5 d'ohm et au circuit induit une résistance de 150 ohms), les variations d'intensité du courant inducteur produiront dans le courant induit des variations correspondantes.

C'est ce courant induit d'intensité variable que l'on peut conduire à l'aide d'un fil téléphonique à de grandes distances, et faire réagir sur un récepteur magnétique comme celui de Bell, dont les vibrations syncroniques avec celle du transmetteur reproduiront la parole émise devant la membrane de ce dernier.

Tel est le principe de la transmission de la parole à distance à l'aide du transmetteur à charbon d'Edison, devant lequel on parle et du récepteur magnétique à l'aide duquel on écoute.

On arrive à produire les mêmes effets de variations l'intensité de courant en employant les transmetteurs microphoniques dont nous allons parler maintenant.

On préfère même aujourd'hui, ce genre de transmetteur parce qu'il n'exige pas comme le transmetteur Edison de réglage.

Ce réglage est en effet souvent une cause de fonctionnement irrégulier de ce dernier transmetteur.

La propriété des corps semi-conducteurs signalée par Edison avait été découverte en même temps par Hughes, mais d'une manière tout à fait différente. C'est par le contact plus ou moins parfait de deux crayons de charbon que Hughes est arrivé à produire des variations d'intensité de courant.

Le microphone primitif qui avait la propriété de reproduire les sons et de les amplifier est resté pendant quelque temps sans application pratique à raison de sa sensibilité extrême, qui l'empêchait de reproduire nettement les articulations de la voix.

Cependant, ces propriétés étaient tellement remarquables que les inventeurs cherchèrent des combinaisons autres que celles de Hughes pour arriver à faire parler le microphone.

M. Blake, de Chicago, fut le premier qui arriva à un résultat satisfaisant et son microphone est encore un des plus employés aux Etats-Unis.

Les inconvénients du microphone de Blake sont les crachements qui se produisent souvent lorsqu'on ne parle pas à une distance déterminée de l'embouchure pour un réglage donné de l'appareil.

Ces crachements sont produits par la rupture totale du contact et cet inconvénient, auquel il était pour ainsi dire impossible de parer par des

différents moyens de réglage essayés, MM. Crossley, Gower, Maiche et Boudet de Paris, sont arrivés d'une façon très simple à y remédier par l'emploi de contacts multiples.

Nous avons signalé l'inconvénient du microphone de Blake. Les microphones Crossley et Gower-Bell donnent lieu quelquefois au même inconvénient, le nombre des contacts n'étant effectivement que de 8 et la disposition des charbons en forme de losange, en forme polygonale ou rayonnante n'étant pas la meilleure à leur donner.

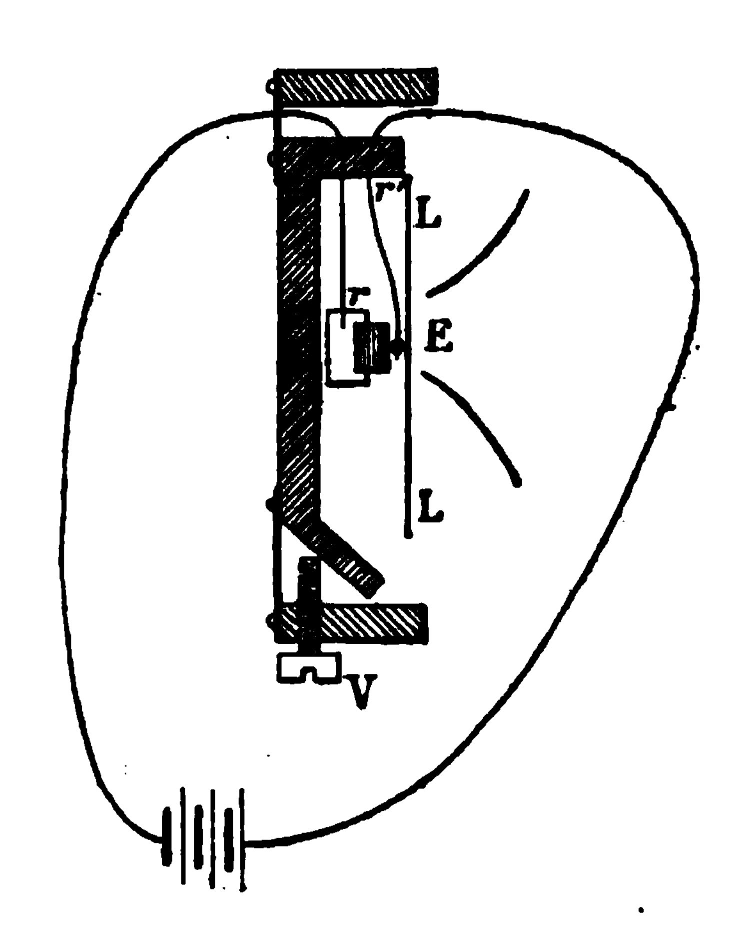
M. Ader a résolu la question d'une façon bien plus satisfaisante en plaçant des charbons en rangées parallèles, et c'est aujourd'hui le microphone qui donne les meilleurs résultats, et le plus répandu en France.

Les figures *a b c* représentent les dispositions des charbons dans les microphones de Blake, Crossley et Ader, les trois systèmes les plus employés. Dans ces trois systèmes comme dans tous ceux que nous ne pouvons décrire ici faute de place, les variations d'intensité du courant local sont obtenues par le même moyen.

Elles résultent des variations de résistance subies par le courant à son passage aux points de contacts, entre les charbons, sous l'action des vibrations des membranes devant lesquelles on parle et en arrière desquelles les charbons sont fixés.

Fig. *a*.

Disposition du microphone de Blake à contact unique.



E embouchure.
LL membrane.
r ressort porte-charbon.
r' ressort à contact de platine.
V vis de réglage.

Fig. *b.*

Disposition en losange des charbons du microsphone de Crossley à 8 contacts.

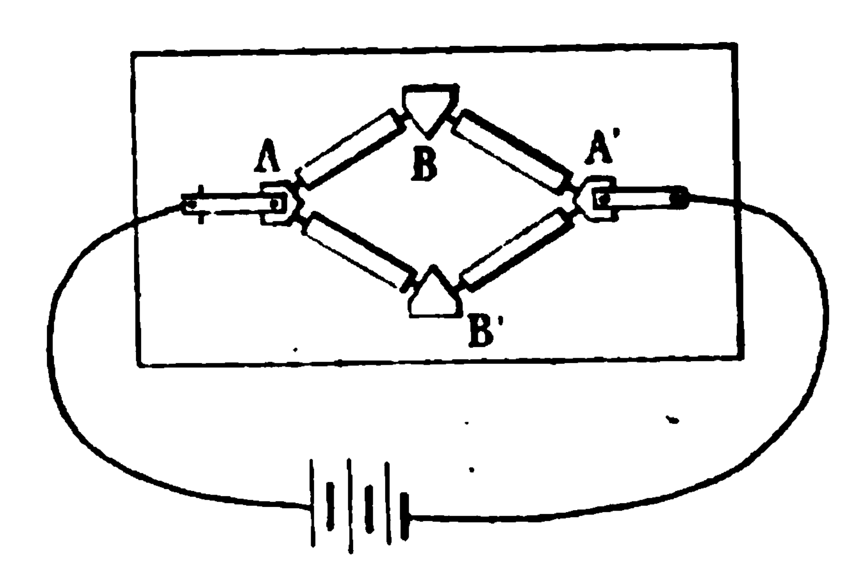
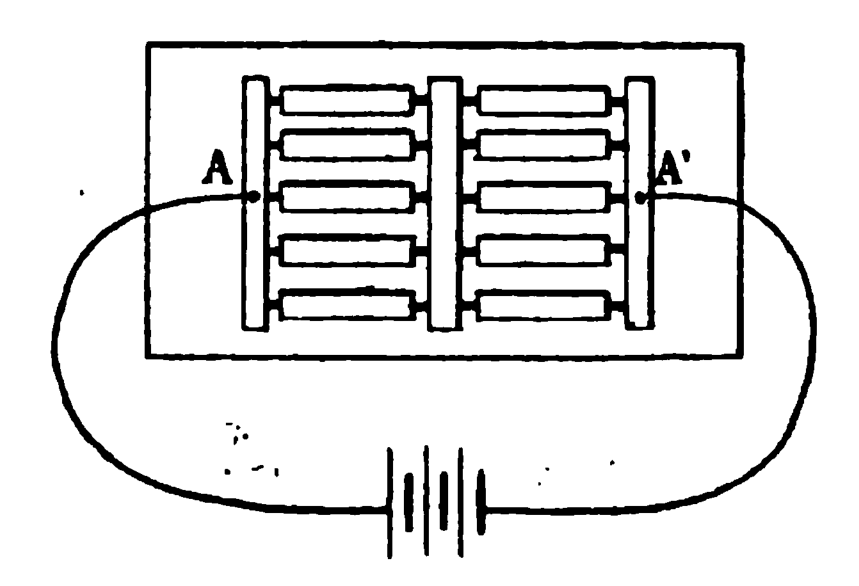


Fig. *c.*

Disposition en rangées parallèles des charbons du microphone d'Ader à 20 contacts.



Cependant, le téléphone de Maiche est une disposition dont les résultats sont assez satisfaisants, il donne des sons clairs, mais il est d'une construction plus compliquée.

Les différentes dispositions de M. Boudet de Paris, donnent comme résultats des effets analogues à ceux du téléphone Maiche et en général à ceux des téléphones à contacts multiples.

Le microphone de Locht-Labye est d'une simplicité très grande, sa qualité est d'être particulièrement sensible, mais il a l'inconvénient des microphones à un seul contact.

Le microphone à deux plaques de M. Dunand présente les mêmes inconvénients de contact unique donnant lieu à un réglage.

M. Machalski a exposé un téléphone qui fonctionne seulement avec des courants primaires. Son téléphone consiste en un diaphragme au centre duquel est soudé un petit piston de forme particulière qui entre dans un petit tube en caoutchouc souple, de quelques millimètres de diamètre,

plein de graphite en poudre, qui forme alors le corps semi-conducteur destiné à modifier l'intensité du passage du courant.

L'emploi de la poudre de graphite offrant une très grande résistance au passage du courant, il s'ensuit qu'on peut se servir d'un très grand nombre d'éléments, d'où il résulterait que ce courant pourrait êtré envoyé, vu son intensité, sur des lignes d'une très grande longueur; et effectivement, M. Machalski a fait des expériences sur les lignes télégraphiques de l'Etat, entre Paris et Chartres, en mettant jusqu'à cent éléments sur son transmetteur. Il paraît que les expériences ont donné des résultats assez satisfaisants. Cette disposition n'exige pas l'emploi d'une bobine d'induction. Le courant primaire agit directement sur le récepteur magnétique. Dans les expériences auxquelles j'ai assisté, le récepteur employé était un récepteur Siemens. La voix arrivait très forte.

Avec la disposition de M. Machalski, s'il s'agit seulement de deux stations à relier, il ne faut qu'une pile placée à l'un des postes; s'il y a plusieurs postes, il ne faudrait, paraît-il, qu'une pile unique encore, et on mettrait toutes les lignes en dérivation. On n'aurait ainsi, au bureau central, qu'une seule pile.

Je dirai maintenant quelques mots des dispositions adoptées par M. Ader pour les auditions de l'Opéra (fig. 1). Pour faire que, lorsque l'acteur A se déplace sur la scène, en A' chaque auditeur qui a deux téléphones R R' placés à l'oreille entende presque aussi bien, malgré ce déplacement, M. Ader s'est arrangé de façon que les deux oreilles de l'auditeur soient affectées par deux transmetteurs T T' situés chacun en un point différent de la rampe. De cette manière l'acteur se trouve toujours se rapprocher de l'un des transmetteurs quand il s'éloigne de l'autre et alors, dans ce cas, une oreille est impressionnée très vivement, l'autre plus faiblement. Dans le cas où l'acteur prend une position équidistante des deux transmetteurs, les deux oreilles seront affectées également, de sorte que dans presque toutes les positions que prend l'acteur sur la scène, chaque auditeur se trouve recevoir à peu près la même somme d'intensité de son, répartie plus ou moins également entre les deux oreilles.

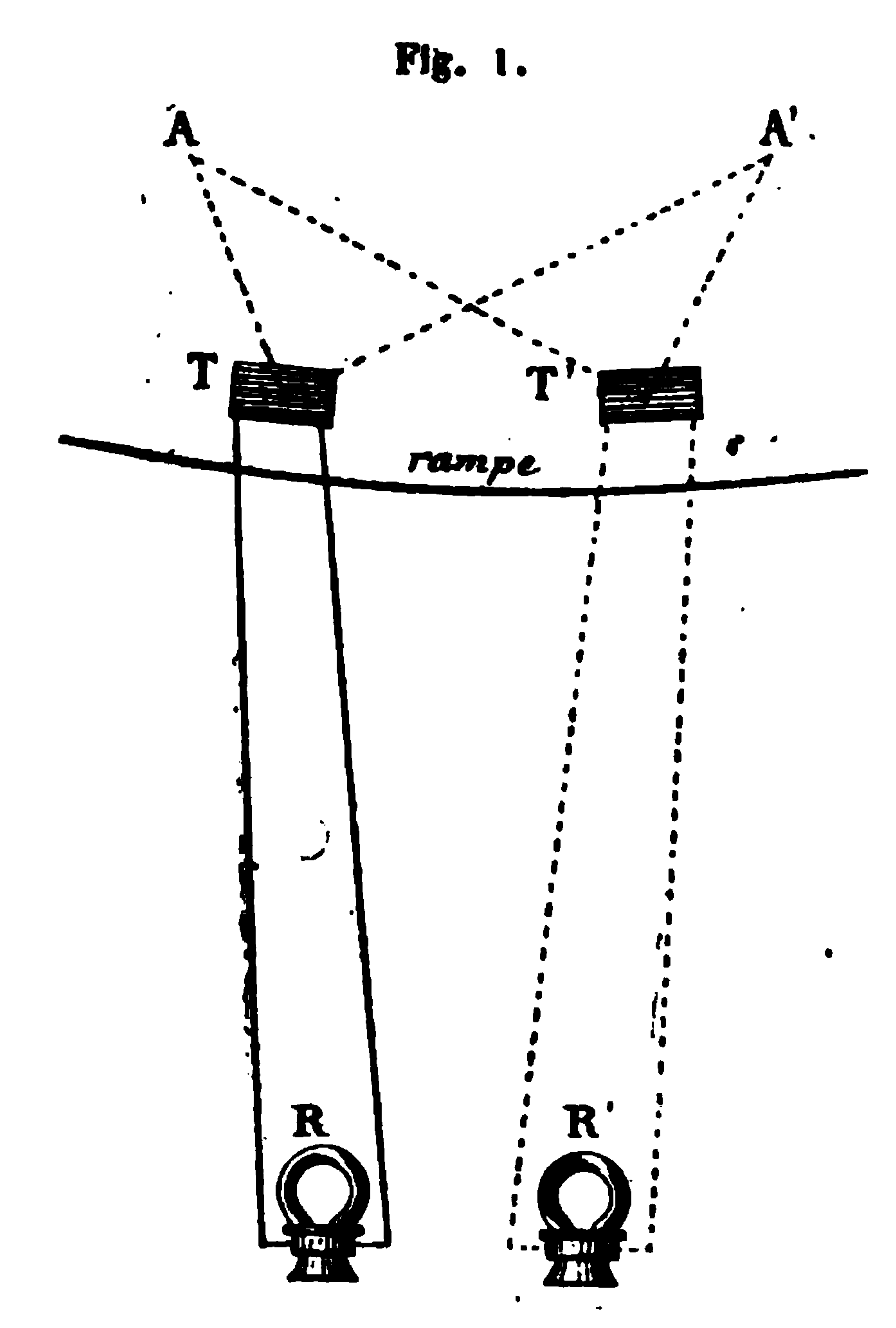
C'est ce que montre la figure 1.

La figure 2 indique les dispositions d'ensemble sur la scène et dans une salle d'audition.

On voit, par ces dispositions, que chaque transmetteur peut desservir un certain nombre de récepteurs à la fois.

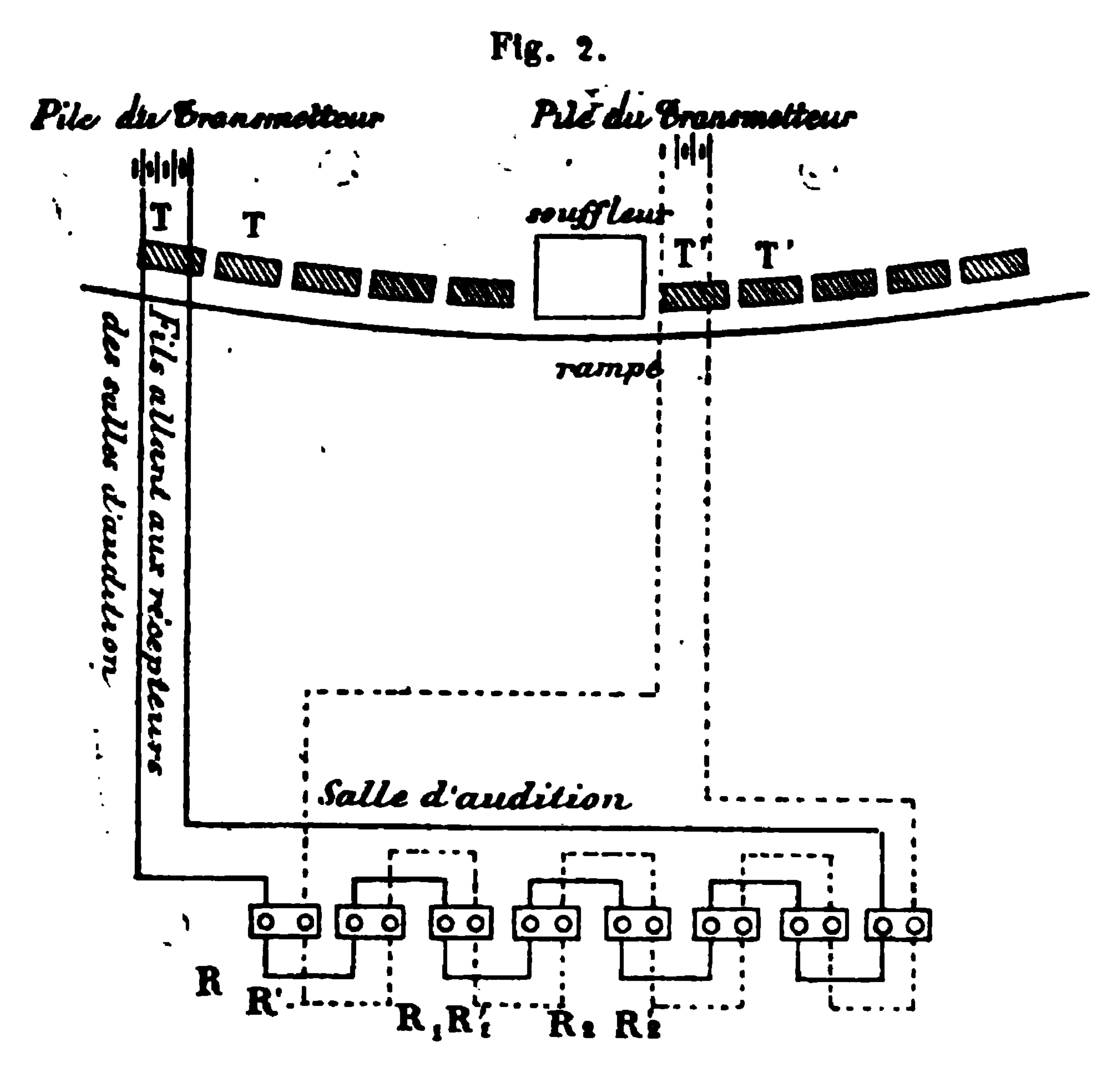
Le circuit du transmetteur T dessert les récepteurs R_1 R R_2 R_3, etc., que différents auditeurs tiennent à l'une de leurs oreilles et le transmetteur T' placé en un point différent, mais symétrique de la rampe, dessert les récepteurs R' R'_1 R'_2 R'_3 que les mêmes auditeurs tiennent à leur seconde oreille, ainsi se trouve remplie la condition indiquée figure 1.

Fig. 1.



R R' les deux récepteurs qu'un auditeur tient à ses oreilles.
A A' indiquant deux positions différentes de l'acteur sur la scène.

Fig. 2.



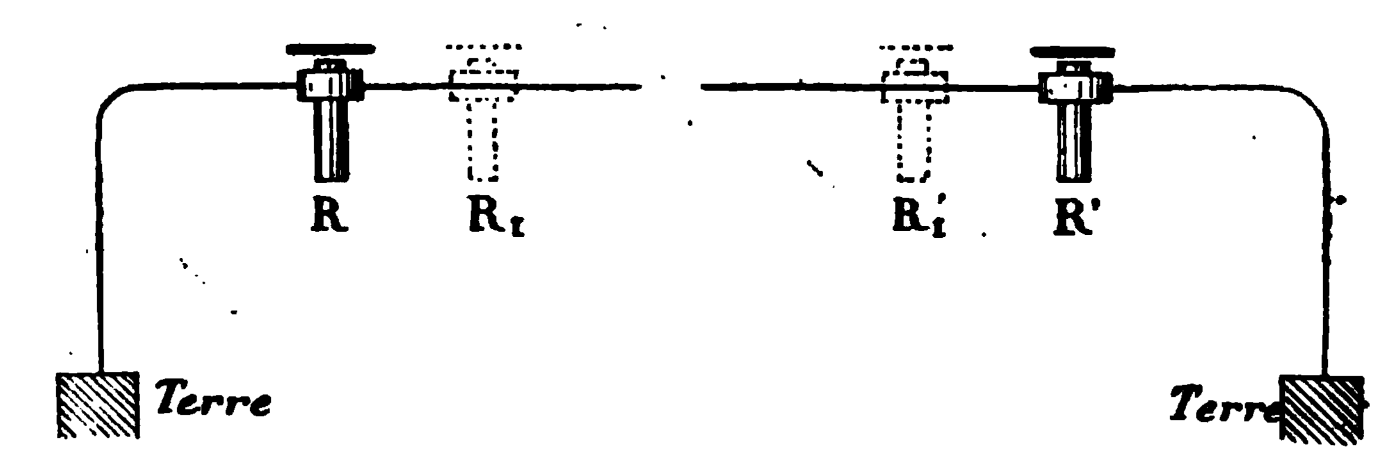
R R' R_1 R'^1 représentent les deux récepteurs que chaque auditeur tient à ses oreilles.

Le circuit téléphonique le plus simple est celui que Bell a le premier appliqué à l'usage de son téléphone magnétique.

Il se compose d'un conducteur métallique mis à la terre à ses deux extrémités, dans le parcours duquel on intercale deux ou un plus grand nombre de téléphones magnétiques

Fig. 3.

Disposition du circuit des téléphones magnétiques.



Les mouvements vibratoires de l'air produits par la voix ou par tout autre cause, sont dirigés vers le diaphragme et concentrés sur l'embouchure.

On voit ainsi que, lorsque ces vibrations sont communiquées à l'air en face de l'embouchure, les battements des ondes sur le diaphragme élastique impriment à ce dernier un mouvement correspondant. Celui-ci, à son tour, réagissant sur l'aimant, trouble les conditions normales du magnétisme du noyau, et comme toute variation d'aimantation de ce barreau tend à engendrer des courants électriques dans la bobine enveloppante, le circuit dans lequel on interposera cette bobine sera traversé par une série d'ondes électriques ou de courants.

De plus, comme ces courants continuent à être engendrés aussi longtemps que durent les mouvements du diaphragme, comme ils augmentent et diminuent de force avec l'amplitude des vibrations, il est évident qu'ils possèdent tous les caractères d'un agent actif sur le diaphragme du transmetteur.

En conséquence, par leur action électro-magnétique, sur l'aimant d'un appareil identique à celui qu'on vient de décrire et placé dans le même circuit à l'autre extrémité de la ligne, ces courants forceront ce second diaphragme à vibrer synchroniquement avec celui de l'appareil transmetteur.

L'inconvénient capital de l'emploi du téléphone magnétique, comme appareil de transmission et de réception, est la faible intensité des sons émis par l'appareil récepteur.

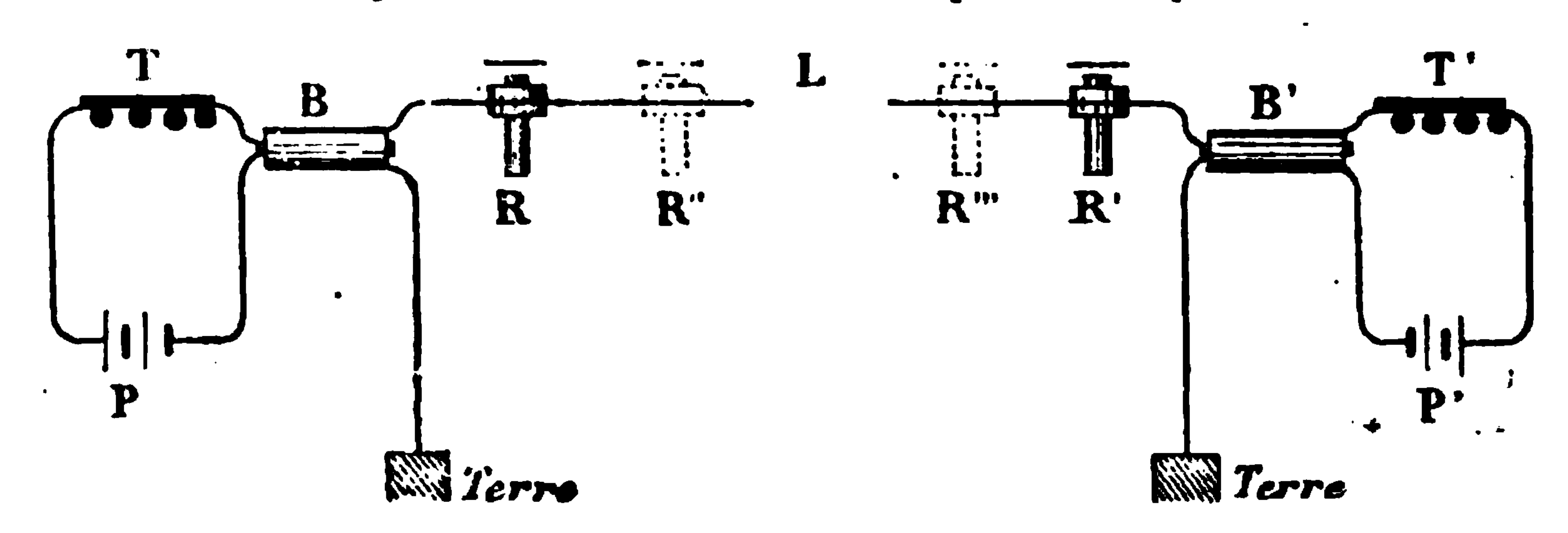
C'est pour parer à cet inconvénient que l'on a adopté la disposition consistant dans l'emploi d'un transmetteur spécial de la nature de ceux que nous avons décrits, et qui a pour objet de renforcer considérablement les sons émis par le téléphone magnétique.

Pour l'emploi de ces transmetteurs, on a été conduits à modifier le circuit téléphonique en y intercalant autant de bobines d'induction qu'il y a

d'appareils transmetteurs dans le circuit et en faisant agir sur le circuit local primaire desdites bobines, un transmetteur et sa pile.

C'est ce que nous avons déjà expliqué à propos du fonctionnement du transmetteur à charbon d'Edison. La figure ci-jointe rendra tout à fait claires nos explications précédentes en montrant comment sont constitués d'une manière générale les circuits téléphoniques où l'on emploie les transmetteurs d'Edison ou les transmetteurs microphoniques.

Fig. 4.
Disposition du circuit des téléphones à pile.



T T' Transmetteurs à charbon ou microphoniques quelconque *cc'*, représente le circuit local comprenant la pile P, le fil inducteur de la bobine d'induction B et le transmetteur T de chaque extrémité de la ligne.

Le nombre d'éléments de la pile P nécessaires au fonctionnement du transmetteur varie suivant le système de transmetteur employé.

Avec le transmetteur à charbon d'Edison, deux éléments Leclanché suffisent; les microphones à un seul contact comme celui de Blake fonctionnent très bien avec un seul élément, mais, avec les microphones à contacts multiples de Crossley Ader et autres, il faut au moins trois éléments.

L est le circuit de ligne formé par les fils induits des bobines, B B' les fils des bobines des récepteurs R R', lequel se complète par la terre T T'.

Cette disposition montre que l'on peut intercaler sur la ligne L d'autres récepteurs R'' R''' et que ces derniers seront influencés de la même manière que les récepteurs R et R'.

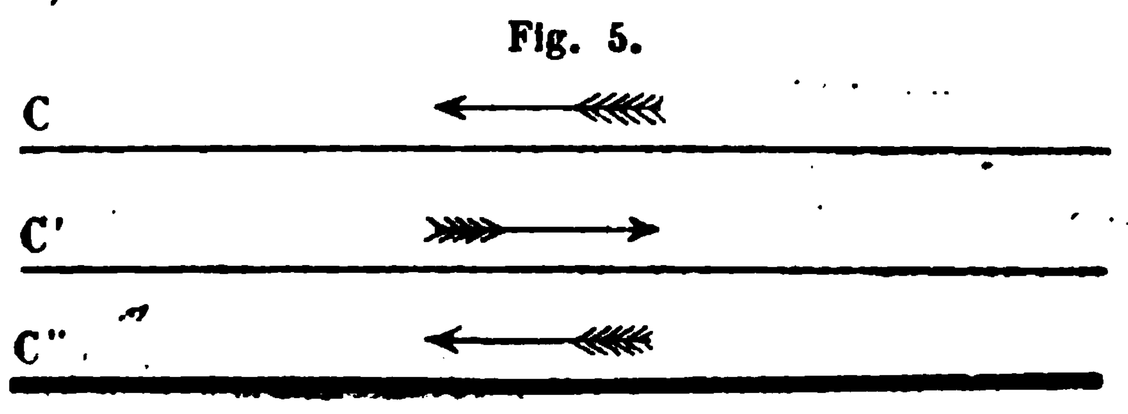
Seulement l'expérience démontre que l'intensité émise par les récepteurs décroît quand on en augmente.

Je dirai maintenant quelques mots sur les bruits d'induction dans les circuits téléphoniques. Si on considère deux ou plusieurs de ces circuits voisins l'un de l'autre, on reconnaît d'après le sens des courants qui les parcourent que ces différents circuits doivent forcément réagir l'un sur l'autre, et, par conséquent, il doit en résulter des troubles dans l'émission des sons reproduits par les différents appareils récepteurs.

Ces troubles, qui dans la pratique gênent considérablement les conversations, peuvent être évités par différentes dispositions de circuits que nous allons examiner successivement.

La première disposition qui se soit présentée à l'esprit est celle qui consiste à employer un circuit métallique complet, d'où résulte que, chaque circuit séparé, se trouvant parcouru par des courants de sens contraire, les courants d'induction qui prennent naissance s'y annulent d'eux-mêmes (fig. 5).

Fig. 5.



Considérons en effet trois lignes *c c' c''* ces trois lignes s'influenceront mutuellement par induction, mais si les lignes c et *c'* forment un circuit métallique complet, il est clair que le courant de la ligne *c''* donnera naissance dans *c* et *c'* à des courants d'induction de sens contraires lesquels s'annuleront, puisqu'ils seront sensiblement de même intensité, je dis sensiblement car le courant *c''* agissant sur la ligne *c'* y développera un courant plus intense que dans la ligne *c* qui en est plus éloignée.

Nous verrons plus loin comment, dans la pratique, on arrive à rendre à peu près égale l'induction de *c''* sur *c* et *c'*.

Cette disposition est celle qui a été adoptée dans le réseau téléphonique de Paris, construit tout entier en câbles à fils multiples qui s'influençaient mutuellement dans un même câble ou étaient influencés à distance par les fils des câbles téléphoniques voisins, et surtout par les fils des câbles télégraphiques.

L'emploi du circuit métallique complet donne de bons résultats, mais on comprend cependant qu'il ne peut annuler complètement les effets d'induction qu'il s'agit de combattre, car, étant donnés deux fils formant un même circuit, il est impossible de faire que ces deux fils se trouvent également influencés par les courants des fils voisins, la distance de chacun d'eux au fil voisin ne pouvant être rigoureusement la même.

C'est en les tordant ensemble deux à deux dans un même câble, et en tordant ensuite tous les fils d'un même câble qu'on est arrivé aussi près que possible à la réalisation des conditions d'équidistance des différents circuits les uns par rapports aux autres.

Différents inventeurs ont cherché à réaliser la suppression des phénomènes d'induction dans les câbles, en ne se servant que d'un seul conducteur mis à la terre à ses deux extrémités.

Nous allons donc examiner maintenant successivement les dispositions proposées par MM. Gower, Berthoud et Borel, Brooks, Cornélius Herz, Maiche, Durand, Dolbear et Brasseur.

M. Gower est arrivé à atténuer les bruits d'induction dans une certaine mesure en employant un câble formé d'un fil de cuivre isolé, à l'aide d'un bourrage et d'un guipage en coton imprégné de substances isolantes,

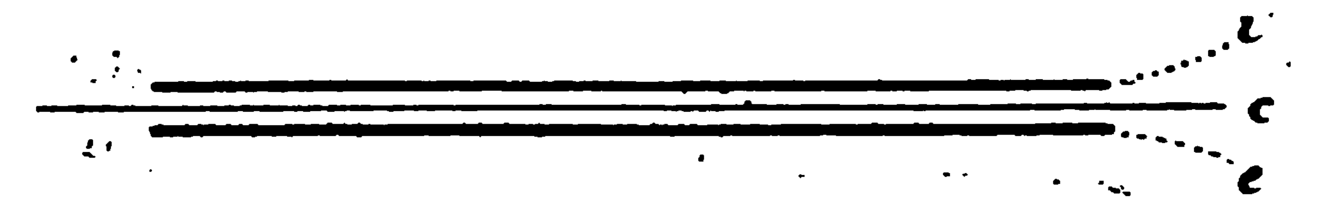
le tout recouvert d'un fil de fer galvanisé enroulé en spirale. Cette spirale, qui, dans tout le parcours du câble se trouve mise à la terre, détruit ainsi que nous l'avons dit une partie de l'induction. Elle forme en outre une sorte de protection au câble.

Ce type de câble est assez bon marché et a été employé au début dans le réseau souterrain téléphonique de Paris. Il semble avoir assez bien résisté jusqu'à aujourd'hui.

Dans le câble construit par MM. Berthoud et Borel, nous trouvons une disposition ingénieuse qui supprime assez complètement les bruits d'induction. Chaque circuit de ce câble se trouve composé d'un conducteur en fil isolé placé au centre d'une petite gaine de plomb isolée à son tour qui complète le circuit. Tous ces circuits isolés entre eux sont rassemblés de manière à former un même câble sous une même enveloppe de plomb.

Les deux coupes (fig. 6 et 7) montrent le mode de construction de ce système de câbles.

Fig. 6. — *Coupe d'un conducteur double.*



c Conducteur en cuivre.
i Matière isolante.
e Enveloppe de plomb.

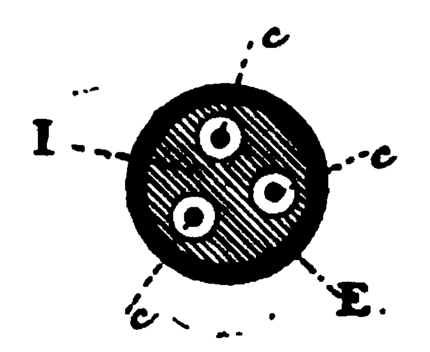


Fig. 7. — *Coupe d'un câble à trois conducteurs doubles.*

E enveloppe de plomb.
I matière isolante.
c c c conducteurs doubles.

Ce système cependant, a un inconvénient : les soudures de l'enveloppe de plomb qui recouvre chaque conducteur de cuivre sont difficiles à faire.

Dans le câble de Brooks, c'est aux propriétés très isolantes du pétrole et au grand nombre de fils que l'on peut mettre dans un même câble qu'il faut attribuer son immunité contre les effets de l'induction.

En effet, on a reconnu que plus le nombre des fils dans un même câble est grand, plus les effets d'induction sont divisés et moins ils sont sensibles.

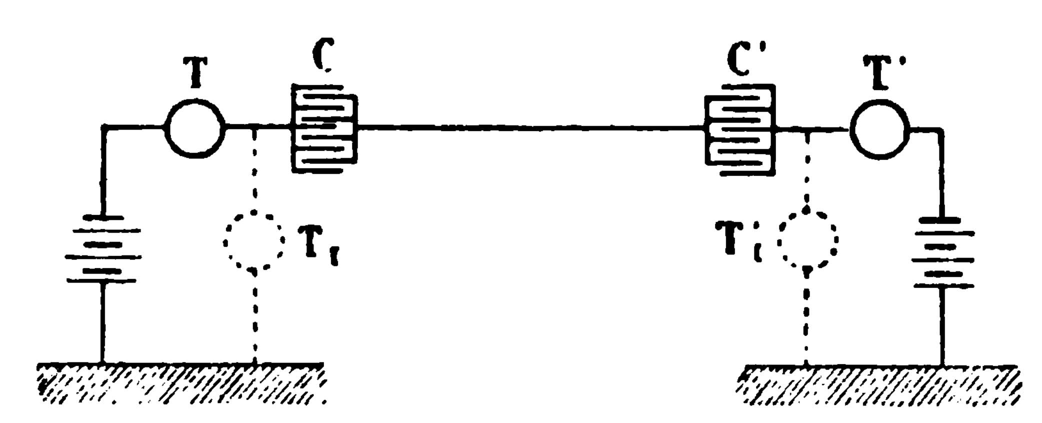
Le câble Brooks nous semble la meilleure solution pour les communications téléphoniques, à cause de son bon marché qui permettrait encore au cas où l'emploi d'un simple fil laisserait des traces trop sensibles d'induction, d'en prendre un second et de constituer ainsi un circuit métallique complet.

M. Cornélius Herz a proposé une série de dispositions ayant pour effet de détruire les bruits d'induction.

Dans toutes ces dispositions, c'est en intercalant aux deux extrémités de la ligne des appareils condensateurs *c c* ou en se servant de ces mêmes appareils, dont il modifie la forme comme récepteurs, qu'il est arrivé à ce résultat. Mais, je dois le dire, au détriment de l'intensité des sons recueillis dans les appareils récepteurs.

L'action des condensateurs s'explique dans ce cas qu'ils peuvent bien transmettre les courants d'ordre secondaire, mais arrêtent complètement les courants plus faibles d'ordre tertiaire et autres.

Fig. 8. — *Disposition de M. C. Herz.*



T T' transmetteurs d'une construction spéciale imaginée par M. C. Herz.

Dans les essais qu'il a faits de ce système, il a placé les transmetteurs tantôt dans la ligne en T T' tantôt en dérivation en T_{11} T_{11}.

C'est cette seconde disposition qui a donné les meilleurs résultats.

Dans les dispositions imaginées par M. Maiche, les bruits d'induction seraient évités par l'interposition, dans le circuit, d'une seconde bobine d'induction *b* de très haute résistance, 1000 ohms, dont le fil primaire deviendrait le fil induit. C'est sur le circuit de ce fil qu'il place son récepteur R. Nous ne chercherons pas à expliquer ce qui se passe, mais nous avons pu constater que l'induction se trouve considérablement réduite, reste à savoir si ce système employé dans un réseau général donnera les mêmes résultats que ceux que nous avons pu constater dans les quelques essais que nous avons faits.

Fig. 9. — *Disposition de M. Maiche.*

T transmetteur microphonique.
B bobine d'induction ordinaire de 150 ohms.

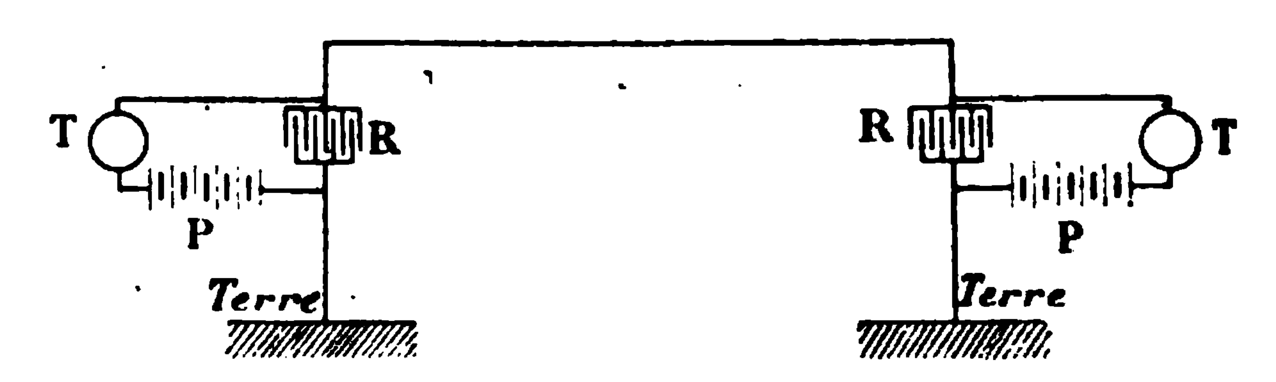
La disposition de M. Dunand repose encore sur l'emploi des condensateurs comme récepteurs.

Ce système a l'inconvénient de nécessiter l'emploi d'une pile assez forte placée dans le circuit, ayant pour effet de polariser le condensateur.

Le condensateur de M. Dunand est un véritable cahier chantant auquel il est arrivé à faire articuler des sons par cette disposition de polarisation.

L'intensité des sons émis par le condensateur-récepteur de M. Dunand est moins grande qu'avec les récepteurs magnétiques ordinaires.

Fig. 10. — *Disposition de M. Dunand.*

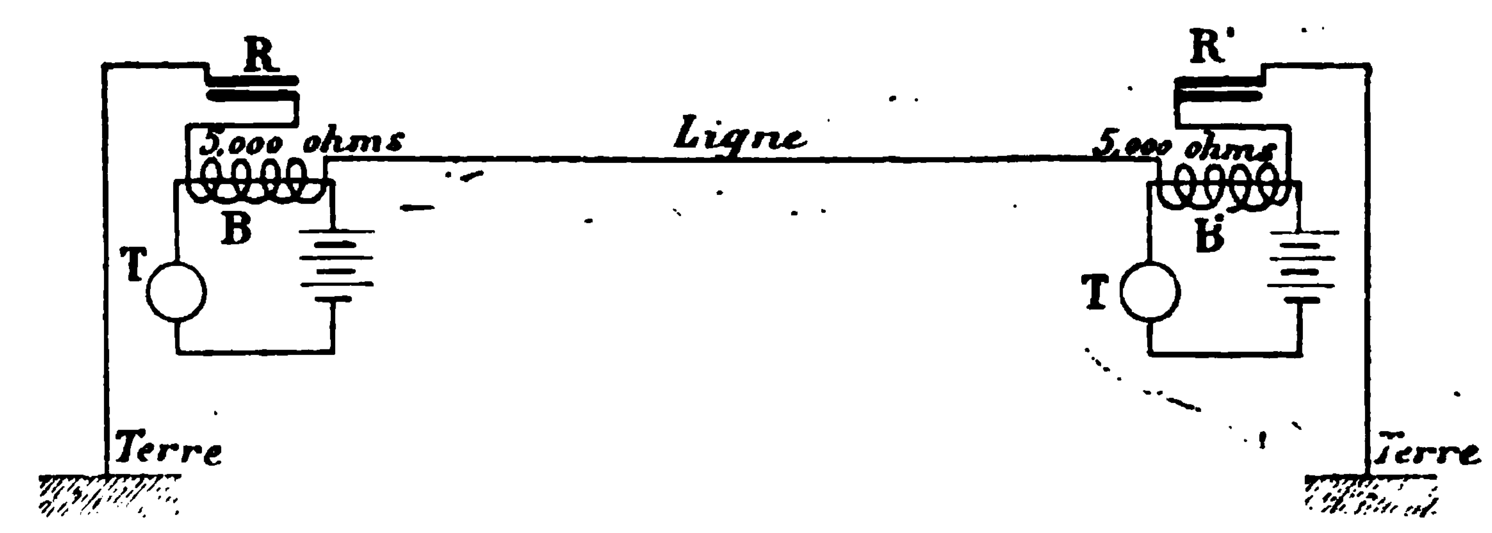


T transmetteur,
R condensateur récepteur.
P pile de 10 éléments Leclanché.

L'emploi des condensateurs comme récepteurs a été réalisé d'une façon remarquablement simple par M. Dolbear. Dans cette disposition, chaque récepteur R R′ se compose de deux diaphragmes isolés l'un de l'autre par une couche d'air. L'un des diaphragmes est à la terre, l'autre à la ligne. Une bobine d'induction de haute résistance de 1000 à 5000 ohms suivant les cas et un transmetteur ordinaire quelconque à pile est interposé dans le circuit.

M. Dolbear prétend par cette disposition détruire complètement tous effets d'induction, mais, comme nous l'avons déjà dit, c'est certainement au détriment de l'intensité du son rendu par les récepteurs R R′.

Fig. 11. — *Disposition de M. Dolbear.*



R récepteur Dolbear.
T transmetteur ordinaire.
B bobine d'induction.

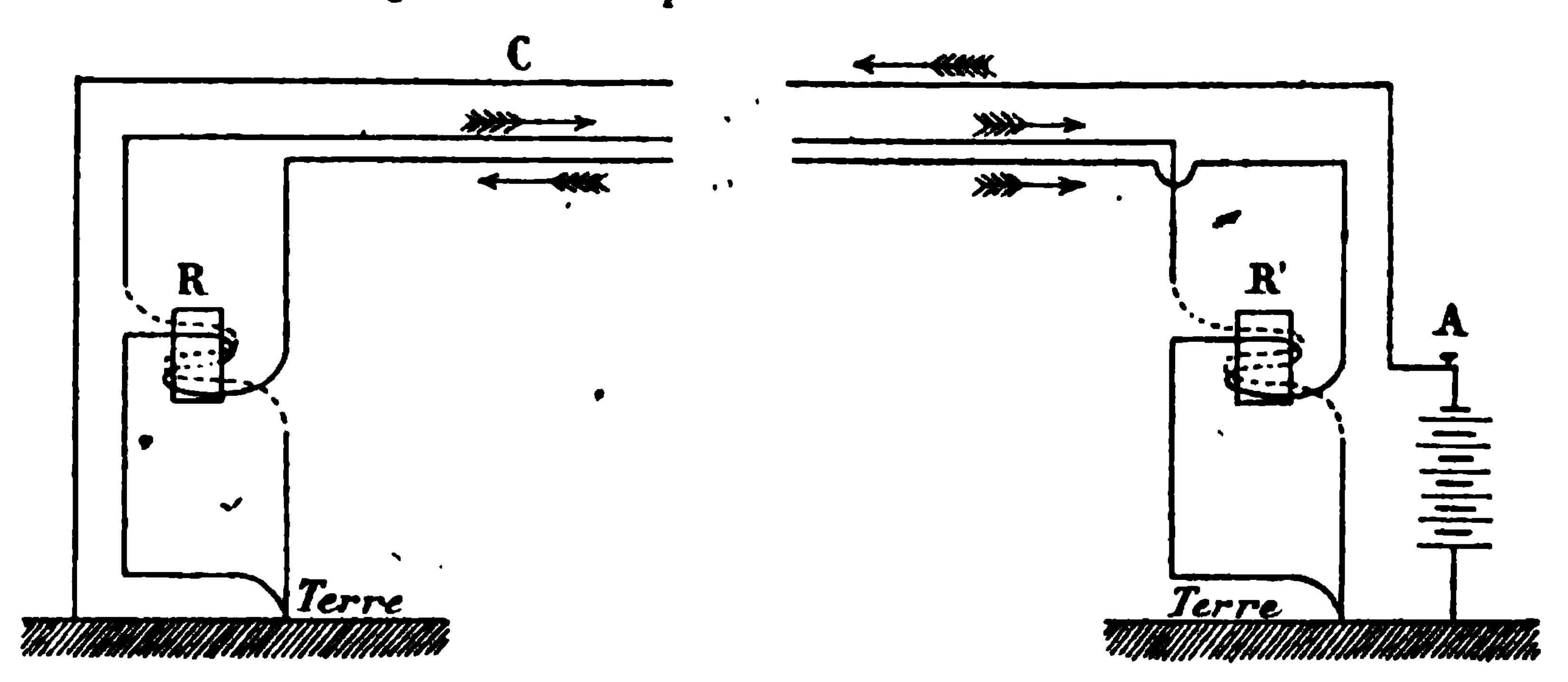
Enfin, signalons une disposition de M. Brasseur ayant pour effet de détruire les bruits d'induction en même temps que de réduire la résistance de la ligne au quart de ce qu'elle est dans les circuits entièrement métalliques. Le circuit proposé par M. Brasseur est composé d'un double conducteur. Il ne diffère du circuit métallique ordinaire qu'en ce que les bobines d'induction et les bobines des récepteurs R R′ comportent un double fil enroulé, dont les deux extrémités aboutissent à la fois à la terre et aux deux conducteurs formant la ligne.

Par cette disposition on voit que dans la bobine du téléphone transmetteur R, les courants sont de même sens et qu'il en est de même dans la bobine du téléphone récepteur R′ où les courants s'ajouteront. Par suite, l'action du fil voisin C, dans lequel nous supposerons qu'on fasse passer un courant énergique, comme celui d'un appareil télégraphique A, produisant dans les deux fils de ligne des courants de même sens, ces courants seront de sens contraire dans la bobine du récepteur et s'y annuleront.

L'emploi de la terre et des deux fils réduit en outre la résistance au quart de ce qu'elle serait dans le cas d'un circuit métallique complet.

C'est là le principal avantage de cette disposition.

Fig. 12. — *Disposition de M. Brasseur.*



R R′ récepteurs magnétiques ordinaires.

Je vais entrer maintenant dans quelques considérations sur le tracé des réseaux téléphoniques.

Le tracé d'un réseau téléphonique dépend de l'importance de la ville qu'il est destiné à desservir.

Si la superficie de la ville n'est pas très grande, l'exploitation en est très facile, car un seul bureau central placé au centre de la partie la plus commerçante suffit en général.

La mise en communication des abonnés pouvant être faite par un simple appel de l'abonné au bureau est très rapide.

Mais, si la superficie de la ville à desservir est très grande, Paris, par exemple, un seul bureau téléphonique ne serait une solution ni pratique, ni économique.

En effet, il serait difficile d'y faire aboutir sans encombrement un très grand nombre de câbles et cela donnerait lieu à de très grands écarts dans les longueurs des lignes, ce qui serait incompatible avec la clause d'un tarif d'abonnement unique pour tous les abonnés.

Donc, il y avait nécessité de desservir Paris par un certain nombre de bureaux.

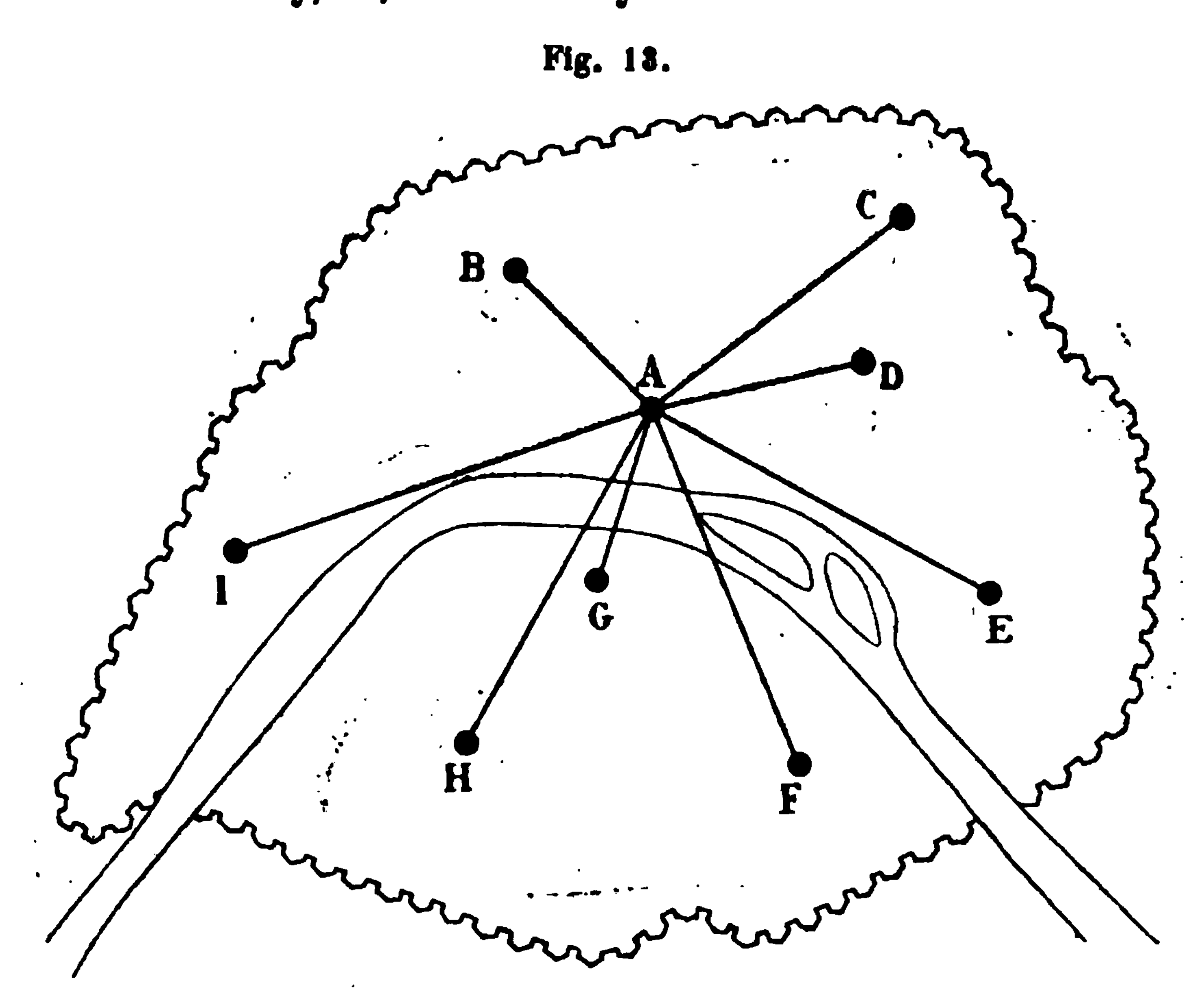
Pour en déterminer le nombre, on a admis comme point de départ que le chiffre des abonnés pourrait atteindre 5000.

Le tarif de l'abonnement ayant été fixé à 600 francs par an et par ligne, on a calculé que la longueur moyenne des lignes, pour être dans un certain rapport avec ce tarif, ne devait pas excéder 1 kilomètre 1/4 à 1 kilomètre 1/2.

Cette condition s'est trouvée remplie en plaçant un bureau téléphonique vers le centre de la partie commerçante de chacun des neuf quartiers suivants :

A Quartier de l'Opéra, 27, avenue de l'Opéra.
B — Monceau, 4, rue de Logelbach.
C — La Villette, 204 *bis*, boulevard de La Villette.
D — Château-d'Eau, 10, place de la République.
E — Faubourg Saint-Antoine, 24, rue de Lyon.
F — Gobelins, 20, avenue des Gobelins.
G — Faubourg Saint-Germain, 62, rue du Bac.
H — Grenelle, 123, rue Lecourbe.
I — Passy, 80, rue de Passy.

Fig. 13.



Pour pouvoir établir des communications entre les abonnés reliés à ces

différents bureaux, il a fallu relier entre eux ces neufs bureaux par des lignes qu'on a nommées lignes auxiliaires.

Deux moyens se présentaient pour relier entre eux ces neufs bureaux, de manière que, pris deux à deux, il existât toujours entre eux un nombre suffisant de lignes de communications permanentes pour ne pas apporter de retards dans l'établissement des communications entre abonnés.

On peut faire partir de chacun d'eux une ou plusieurs lignes aboutissant à chacun des neufs autres de manière à former un polygone étoilé, ce qui donne un nombre de lignes égal à $\frac{n\ (n-1)}{2}$.

Pour le cas particulier de $n = 9$, on a

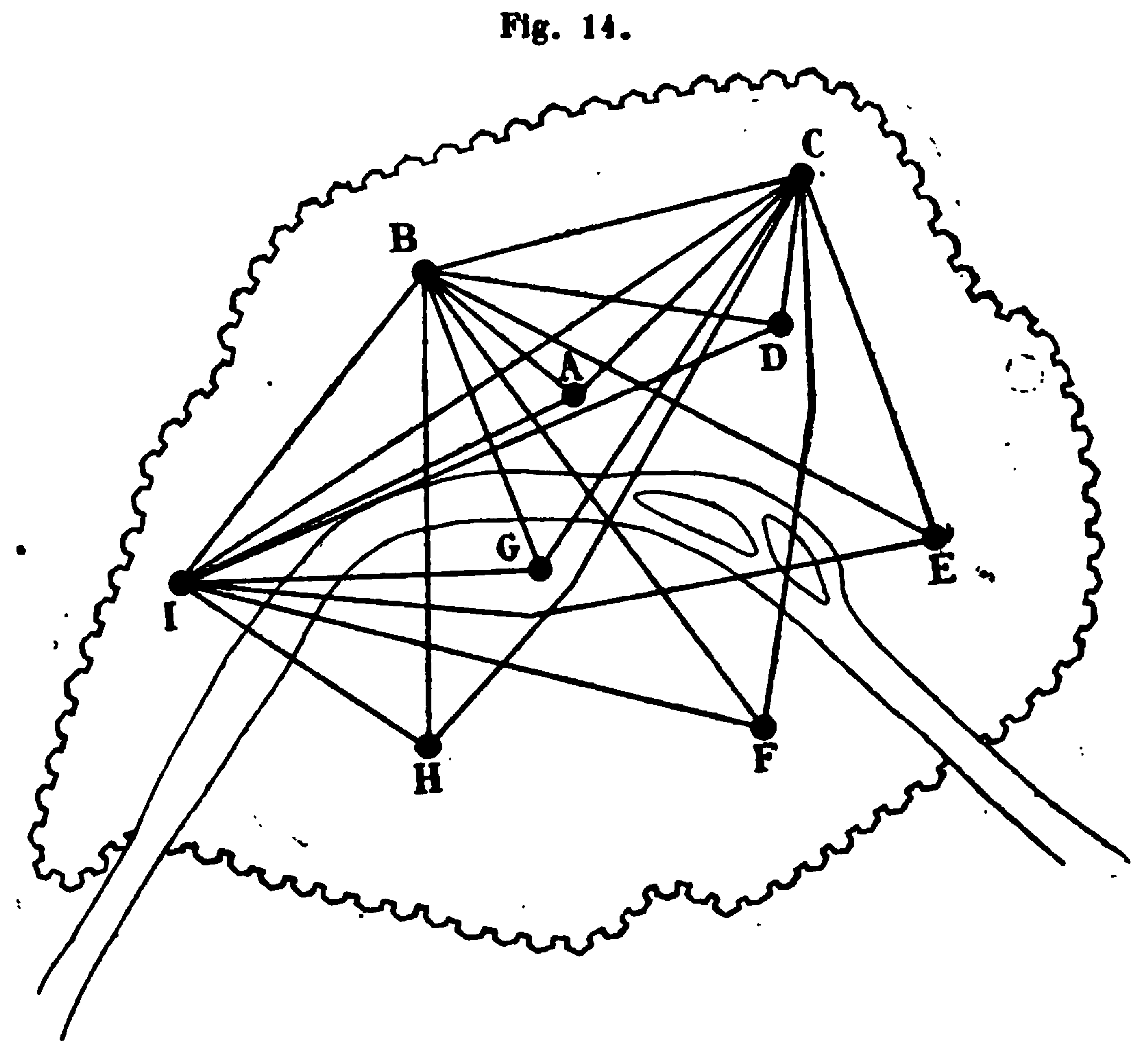
$$\frac{9 \times 8}{2} = 36,$$

d'où il résulte que pour N communications permanentes entre tous les bureaux, il faudrait un nombre de lignes égal à

$$36\,n.$$

Ce système est celui qui donne le développement le moins considérable pour les lignes dites lignes auxiliaires reliant ces différents bureaux entre eux, mais il a l'inconvénient de ne pouvoir se prêter à aucune modification ultérieure en plus ou en moins du nombre de communications

Fig. 14.



entre ces différents bureaux, une fois le réseau des lignes auxiliaires établi.

De plus, comme il y a économie à construire un réseau, avec des câbles à sept conducteurs doubles, il n'eût été possible par ce système d'établir entre les différents bureaux que des lignes en nombre multiple de 7.

La figure *b* représente le mode de liaison des bureaux entre eux par le polygone étoilé. Du bureau B par exemple partent huit lignes B I, B H, BG, BF, BA, BE, BD, BC dirigées vers chacun des autres bureaux, et il en est de même de chacun des bureaux I, H, G, F, etc.

On pouvait encore choisir un point central et de là rayonner par des câbles vers tous les bureaux.

C'est le système rayonnant, et bien qu'il donne lieu à des lignes plus longues, on l'a trouvé préférable. La figure *a* indique ce système.

Le bureau A situé, 27, avenue de l'Opéra, s'est trouvé remplir à peu près cette condition de point central et l'on y a réuni les neuf bureaux, chacun par un certain nombre de câbles à sept conducteurs doubles, lesquels s'épanouissent sur les faces d'une rosace, dite rosace centrale, à l'aide de laquelle il va devenir possible d'opérer entre les bureaux, d'après la fréquence de leurs rapports, toutes les permutations de fils nécessaires avec un nombre bien moins grand de câbles que celui qui eût été nécessaire dans la disposition du polygone étoilé.

Le réseau général ainsi établi, voyons comment un abonné, habitant un point quelconque de Paris, le quartier de l'Étoile, par exemple, va pouvoir être mis en communication, en moins d'une minute, le plus souvent, avec un autre abonné habitant le quartier Saint-Antoine.

Il suffira pour cela que l'abonné de l'Étoile avertisse le bureau auquel il est relié, en demandant simplement la communication, avec le bureau auquel est relié son correspondant.

Une fois en communication avec ce bureau, il demandera à être mis en communication avec le correspondant en question.

De la sorte, quel que soit un jour le nombre de bureaux et des abonnés dans Paris, une demande de communication n'exigera jamais plus de deux communications intermédiaires, si les abonnés sont reliés à deux bureaux différents.

Une seule communication intermédiaire sera suffisante s'ils sont reliés au même bureau.

Voyons maintenant dans quelles conditions s'effectue la construction des lignes téléphoniques.

La partie extérieure, c'est-à-dire celle au-dessus ou au-dessous de la voie publique, est établie par les soins du service des télégraphes de l'État, mais aux frais exclusifs de la Société.

La ville de Paris et les administrations municipales interviennent également pour autoriser la pose des fils et, à cet effet, il a été passé entre la ville de Paris et la Société une convention spéciale.

Ceux que le texte de cette convention peut intéresser la trouveront publiée *in extenso* dans le numéro du 22 juin 1881 du journal *la Ville de Paris*.

Nous ne saurions trop reconnaître à cette occasion combien le concours expérimenté du personnel du ministère des postes et télégraphes a été utile à la Société.

C'est grâce à lui que l'établissement des réseaux aériens, et principalement du réseau souterrain de Paris, s'effectue dans des conditions qu'une longue expérience de l'organisation des réseaux télégraphiques, aériens et souterrains pouvait seule permettre de réaliser.

La pose des câbles téléphoniques en égout autorisée d'abord par la ville de Paris à titre d'essai, s'effectue aujourd'hui en vertu d'une convention spéciale intervenue entre elle et la Société générale des téléphones.

Elle est soumise à un droit annuel pour location des parties du sous sol de la voie publique occupées, soit en égout, soit en tranchée par ces câbles.

Ce droit est fixé de la manière suivante, d'après le développement kilométrique des lignes (fil simple ou double) en service reliant d'une manière quelconque les abonnés et les divers bureaux de la Société :

Les premiers 500 k.	20 fr.	par kil.
500 k. suivants	30 fr.	—
500 k. suivants	40 fr.	—
Les kilomètres suivants. . . .	50 fr.	—

Le droit de passage des lignes aériennes au-dessus des voies publiques est fixée à 10 fr. par ligne et par an, quelle qu'en soit la longueur.

Ce droit n'est pas exigible pour les raccordements en lignes aériennes qui ne franchiraient aucune voie publique.

Elle ne peut avoir lieu qu'en vertu d'un arrêté de M. le Préfet de la Seine, après examen des tracés et désignation des emplacements des câbles par les ingénieurs du service municipal.

Ces indications sont transmises directement au contrôle de l'administration des lignes télégraphiques de l'État qui fait exécuter le travail.

Les agents de la Société n'interviennent dans la construction des lignes que pour l'exécution de l'entrée de poste, de la colonne montante et de l'installation intérieure des fils et de l'appareil chez l'abonné.

Ces fils sont descendus jusque dans l'égout, où ils forment l'amorce de la ligne sur laquelle les agents du service des télégraphes viendront ensuite souder un des conducteurs doubles du câble destiné à le relier au bureau central.

Dans cette opération ils ont soin de noter la couleur des conducteurs donnés à cet abonné pour pouvoir opérer la soudure sur une même couleur de conducteurs à l'entrée de poste du bureau central.

L'opération proprement dite de pose des câbles en égouts a nécessité avant tout, de la part du service du contrôle de l'administration des lignes télégraphiques, une étude préalable sur le plan de Paris, des tracés à suivre pour former les grosses artères du réseau.

L'administration municipale, après examen, a autorisé la pose de câbles suivant ces tracés.

On a procédé alors au scellement à la voûte des égouts de crochets en fer galvanisé destinés à supporter des faisceaux de câbles dans toutes ces directions.

Bien entendu, on a posé des crochets pouvant contenir le nombre maximum de câbles fixé, par les ingénieurs de la ville, d'après l'emplacement disponible dans les égouts empruntés.

Cet emplacement est de 30 centimètres dans les égouts de types récents, ce qui permet de placer 51 câbles à 7 conducteurs doubles pouvant desservir par conséquent 357 abonnés.

Dans les égouts types anciens, il est limité à une seule ligne de crochets.

Ces crochets, scellés à l'avance dans tout le parcours des tracés autorisés par l'administration municipale, permettent alors au service du contrôle des lignes télégraphiques de procéder à l'action du déroulage des câbles dans toutes les directions où il se trouve des abonnés à desservir.

Le travail du déroulage est très simple. Tout le monde a pu voir cette opération s'effectuant sur différents points de Paris, à l'entrée des regards d'égouts.

Le câble, enroulé sur des bobines pour la facilité du transport, en longueur de 500 mètres généralement, est placé sur un chevalet près du bord du regard.

En faisant tourner la bobine, on file entièrement le câble dans l'égout en le laissant reposer sur le radier.

Cela fait, il ne reste plus qu'à le soulever pour le faire reposer dans toute sa longueur sur les crochets de support scellés à la voûte de mètre en mètre.

Une seconde longueur de câble de 500 mètres peut être filée à un autre regard pour venir s'ajouter bout à bout avec la première.

Pour réunir ces deux câbles, il faut opérer la soudure un à un des quatorze conducteurs.

Cette opération de la soudure de deux câbles bout à bout est très délicate et exige de la part des ouvriers soudeurs une grande habitude.

Une précaution essentielle à prendre dans la pose d'un câble, c'est son numérotage dans tout son parcours à l'aide de jetons en cuivre qui y sont fixés de 100 mètres en 100 mètres.

Les jetons aux extrémités d'un même câble permettent de le reconnaître, soit à son point d'épanouissement du côté des abonnés, soit dans le faisceau d'entrée de poste du bureau central.

Les câbles se distinguent en câbles auxiliaires et câbles d'abonnés.

Les premiers sont ceux qui relient entre eux les deux bureaux centraux de la Société.

Les autres sont ceux qui relient les abonnés à ces différents bureaux.

On a donné les numéros 1 à 500 aux câbles auxiliaires.

Le numérotage des câbles d'abonnés commence à 501 et se poursuit.

Un nombre déterminé de câbles est affecté au service de chaque bureau.

L'entrée de poste des bureaux centraux exige la construction de branchements d'égouts assez spacieux pour pouvoir y opérer commodément la soudure des câbles avec les amorces des fils aboutissant aux appareils commutateurs.

Des plaques de bronze ajourées d'autant de trous du diamètre des câbles qu'il y a de câbles à faire pénétrer dans le bureau central, permettent d'y amener ces câbles dans les chambres des fils placées en sous-sol des bureaux, sans donner passage aux émanations venant de l'égout.

Dans ces chambres, les câbles s'épanouissent dans un arrangement régulier en autant de fois sept conducteurs doubles qu'il y a de câbles.

On se sert pour cela de rosaces analogues à celles employées dans les grands bureaux télégraphiques.

Ces rosaces, dont on peut voir des spécimens dans l'exposition du ministère des postes et télégraphes et dans celle de la Société générale des téléphones, permettent de trouver en un instant quel câble, quelle couleur de conducteurs, quel numéro au commutateur, occupe un quelconque des centaines d'abonnés desservis par ce bureau.

Elles ont aussi un autre but très important : c'est de permettre de grouper les lignes des abonnés dans un ordre sympathique, c'est-à-dire d'après la fréquence de leurs rapports, et de leur faire occuper dans les tableaux commutateurs ce même ordre qui rend plus prompte leur mise en communication.

La partie essentielle dans l'exploitation des réseaux téléphoniques est l'organisation des bureaux centraux, où sont établis les commutateurs destinés à établir les communications des différents abonnés entre eux.

Ces commutateurs sont de deux types : ils sont à cheville, du type dit commutateur suisse ou bien ils sont à cordons souples du type dit à Jack-Knife (couteau de Jack).

On s'est servi dès le début du commutateur suisse auquel on a cherché un peu plus tard à donner une forme plus commode pour les besoins de l'exploitation.

On a à cet effet combiné une sorte de table pouvant desservir une cinquantaine de lignes, portant en outre des indicateurs de numéros, un nombre de barres suffisant pour mettre en relation les uns avec les autres un certain nombre d'abonnés reliés à la même table, en même temps qu'un certain nombre d'abonnés reliés à des tables différentes.

Ce système a l'inconvénient de ne pouvoir s'appliquer qu'à des bureaux comportant un nombre d'abonnés restreint.

Un autre système qui est celui généralement employé maintenant est le système dit à *Jack-Knife* et à cordons souples.

Dans ce genre de commutateur, on emploie comme moyen auxiliaire d'établir les communications, différentes dispositions.

La disposition primitive essayée aux États-Unis consistait en une série de barres parallèles placées en dessous des commutateurs et mobiles autour de leur axe.

Pour établir une communication entre deux tableaux quelconques, il suffisait de placer une fiche au Jack-Knife du premier abonné, une fiche au Jack-Knife du second, et de relier ces deux fiches à une des barres.

En impriamnt un mouvement à cette barre, on indiquait qu'elle était occupée dans toute sa longueur. Cette disposition était complétée par un système de relais de fin de conversation, en nombre égal au nombre de barres et que le fait d'une mise en communication de deux abonnés introduisait dans le circuit, de manière à donner un signal visible indiquant la fin d'une communication.

L'exploitation du réseau téléphonique de Paris a lieu à l'aide de commutateurs à Jack-Knife et d'un conjoncteur à Jack-Knife spécial, disposés tous deux pour l'emploi de lignes à double fil, c'est-à-dire du circuit entièrement métallique.

Ces appareils fonctionnent exactement d'après le principe des commutateurs américains à barres, seulement ils permettent un nombre de communications à la fois toujours plus que suffisant pour les besoins.

Le conjoncteur à Jack-Knife peut donner, en effet, jusqu'à 180 communications à la fois, ce que le conjoncteur à barres n'aurait jamais permis de faire, à moins de lui donner une hauteur considérable.

MM. Haskins et Wilson ont imaginé le système suivant consistant à relier dans plusieurs tableaux les abonnés aboutissant à un même bureau.

De cette façon, un quelconque de ces abonnés peut être mis en communication dans le même tableau avec un autre quelconque, sans que pour cela l'employé soit obligé de se déplacer.

Une condition cependant à réaliser était la suivante : qu'un abonné déjà en communication avec une autre personne ne puisse être mis en communication une seconde fois et par conséquent entrer dans le circuit des deux premières déjà en conversation. Ce résultat est obtenu à l'aide de plaques d'épreuve qui permettent de s'assurer, dans ce cas, que l'abonné cause déjà avec une autre personne.

Le duplicate-system est une disposition analogue à la précédente, mais obtenu par des organes peut-être un peu différents.

Dans ces deux systèmes, des relais de fin de conversation se trouvent aussi intercalés dans le circuit des deux abonnés par le fait même de leur mise en communication.

Aux États-Unis, le système de Law est encore très répandu. Ce système consiste à faire l'appel des abonnés et à recevoir leurs communications par des fils distincts, communs à une cinquantaine au moins, qui sont desservis par des appareils télégraphiques d'un genre particulier, munis de cadrans portant les mentions spéciales nécessaires pour demander une mise en communication.

Je signalerai ici, pour mémoire seulement, les essais de systèmes automatiques pour bureaux centraux de M. Barthelous, de Bruxelles, et de MM. Conolly et Tighe de Philadelphie.

Dans ces deux systèmes, qui ont été réalisés pour un petit nombre seulement de lignes téléphoniques, le but proposé est de mettre automatiquement en communication l'un avec l'autre, deux abonnés quelconques reliés à un système automatique, sans l'intervention d'aucun employé.

Le système de M. Barthelous permet seulement une communication à la fois, tandis que celui de MM. Conolly et Mac-Tighe permet à la fois toutes les communications deux à deux entre tous les abonnés reliés au système.

Ces dispositions sont très ingénieuses, mais ne sauraient s'appliquer à un grand nombre de lignes, et jusqu'à présent le mécanisme paraît trop délicat pour pouvoir constituer des appareils véritablement pratiques.

Je dirai maintenant quelques mots des divers systèmes d'appel.

Il y a trois manières d'opérer :

1° La première consiste : étant donné un abonné qui a appelé, à lui signaler qu'on a entendu son appel, à recevoir sa demande, c'est-à-dire s'informer du nom de la personne qu'il demande, à signaler à cette personne par qui elle est demandée, et à n'établir la communication que quand les deux personnes ont été dûment averties.

Ce procédé réclame des soins de l'attention, un nombre assez considérable d'opérateurs et, par conséquent, des frais d'exploitation assez considérables ; mais il est aussi celui qui satisfait le mieux aux exigences d'un bon service téléphonique ;

2° Le second système est beaucoup plus rapide. Il consiste : ayant reçu un appel signalant le nom de la personne demandée, à mettre d'office en communication les deux correspondants, et, au moment même où ces deux correspondants sont en communication, à les en avertir par un appel simultané de sonnerie ;

3° Le troisième mode consiste à mettre d'office en communication les deux correspondants et à les laisser s'appeler mutuellement et à leur volonté dès que la communication est établie.

Il est clair que ces deux derniers systèmes doivent amener une plus grande rapidité dans les opérations des bureaux centraux ; ils ont l'avantage d'alléger le service des opérateurs, mais ont, par contre, l'inconvénient de permettre à tout abonné d'entrer en communication directe avec un autre sans que le bureau central l'ait prévenu du nom de la personne qui désire entrer en communication ;

4° Enfin, MM. Mackensie et Pond ont inventé des appareils au moyen desquels l'abonné peut faire apparaître au bureau central le numéro de l'abonné qu'il demande. Ce système mérite l'attention.

La Société générale des téléphones s'en est tenue au système primitif d'appel, le plus rationnel assurément, celui qui n'expose jamais les abonnés

à être appelés par des inconnus ou par des personnes avec lesquelles ils ne voudraient pas entrer en rapport.

Une des dispositions intéressantes des bureaux centraux consiste dans l'aménagement des chambres de fils, c'est-à-dire des chambres dans lesquelles les fils sont amenés au sortir de l'égoût dans un arrangement spécial et régulier, permettant d'éviter toute confusion et de faire tous les changements qui peuvent être nécessaires pour arriver à grouper les abonnés dans un ordre que nous appellerons l'ordre sympathique, c'est-à-dire d'après la fréquence de leurs rapports, groupement essentiel pour éviter dans leur mise en communication les retards qui pourraient résulter de leur classement aux commutateurs dans un ordre quelconque.

Au point de vue de l'espace de terrain employé par les commutateurs, les commutateurs suisses à table sont peut-être ceux qui exigent le moins d'espaces et le moins d'agencements spéciaux.

Le duplicate-system a également pour but de restreindre, autant que possible l'espace occupé par les agencements d'un bureau central. Ces dispositions ont aussi pour but de répondre aux exigences d'un service excessivement actif et sont applicables à des bureaux comportant au moins 500 abonnés et un mouvement considérable de communications.

Le nombre de fils que l'on peut amener dans un même bureau ne saurait dépasser sans inconvénient 500; au delà de ce chiffre, il est préférable d'avoir dans le même local ou dans des locaux séparés, un bureau tout à fait indépendant du premier; le service des communications en sera d'autant mieux assuré.

Aux États-Unis, on rencontre des installations téléphoniques dans lesquelles, sur un même fil, on a branché plusieurs abonnés. On est arrivé par différentes combinaisons à faire que chacun d'eux peut occuper le fil sans que les autres puissent intervenir et gêner sa conversation pendant le temps qu'il occupe.

C'est à l'aide de commutateurs spéciaux ou d'appareils à mouvement d'horlogerie qu'on est arrivé à ce résultat et, dans ce cas naturellement, le prix des abonnements se trouve réduit dans la proportion du nombre d'abonnés branchés sur un même fil.

En France, une application aux abonnements téléphoniques à tous les étages d'une même maison est en cours d'essai dans les nouvelles constructions de la Société des immeubles de la plaine Monceau.

Chaque locataire d'une même maison pourrait ainsi, à tour de rôle, occuper le fil unique reliant cette maison au bureau central le plus proche et par conséquent jouir des mêmes avantages offerts aux abonnés ordinaires avec cette seule différence qu'il partagerait le fil avec les autres locataires.

Nous terminerons ce qui est relatif à l'exploitation des bureaux téléphoniques, en donnant quelques chiffres qui montreront l'importance qu'ac-

quiert de jour en jour l'emploi du téléphone dans Paris, puisqu'entre 1,500 abonnés actuellement reliés, il s'échange journellement plus de dix mille communications par jour.

Le temps nécessaire pour l'établissement d'une communication ne devrait guère excéder une minute, si l'abonné qui est demandé, venait immédiatement à l'appareil répondre à l'appel qui lui est fait.

Dans un exposé aussi rapide, je n'ai pu qu'indiquer les points essentiels des importants problèmes qui intéressent l'organisation et l'exploitation des réseaux téléphoniques.

Bien des difficultés sont encore à surmonter pour atteindre à une solution complète de la question.

La voie est ouverte maintenant, nul doute qu'on y arrive.

M. le Président remercie M. Berthon de sa très intéressante communication.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Résumé paraissant les premier et troisième vendredis de chaque mois.

SÉANCES-VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

PROCÈS-VERBAL DE LA 11e SÉANCE-VISITE

tenue le Vendredi 11 Novembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. ERNEST MARCHÉ, *Vice-Président.*

La séance est ouverte à dix heures du matin.

M. LE PRÉSIDENT. Les deux objets de la visite de ce jour à l'Exposition sont l'application de l'électricité à la chimie, et la métallurgie électro-chimique.

Je donne la parole à M. DOUAU, qui nous indiquera quelles sont les choses spéciales à voir à l'Exposition à ce sujet.

M. DOUAU. Messieurs, La communication que je vais avoir l'honneur de vous faire sera très sommaire, en ce sens que, dans le sujet que nous avons à examiner, il y a toute une série de considérations scientifiques excessivement étendues et nombreuses, sur lesquelles je ne voudrais pas retenir votre attention très longtemps, d'autant plus que tous les savants qui se sont occupés, jusqu'aujourd'hui, de cette question ne sont pas absolument d'accord.

I. — **Considérations générales.**

En ce qui concerne l'électro-chimie, certains principes, tendent à se faire jour, et semblent détruire les théories admises jusqu'à présent, pour en revenir à un principe indiqué il y a près de quarante ans par M. Dumas et qui peut se formuler de la manière suivante : « Toutes les « fois que, dans un composé liquide, on fait intervenir l'action d'un « courant électrique, il se produit une décomposition, et dans les appli-

« cations spéciales de l'électro-chimie, l'action chimique se produit sous « l'influence d'une désoxygénation pure et simple. »

Voilà donc un principe connu depuis longues années ; on s'en est écarté et, aujourd'hui, on semble y revenir. — La conséquence que l'on en doit tirer, lorsqu'on décompose un bain quelconque sous l'action d'un courant électrique, c'est que ce ne sont plus sous les influences, soit du courant positif, soit du courant négatif, que les phénomènes se produisent, certains auteurs déclarent même qu'il n'y a pas de courant proprement dit dans l'électro-chimie.

Quant aux applications ou aux relations qui existent entre l'électricité et la chimie, elles sont très nombreuses. En effet, nous trouvons que, soit à l'état dynamique, soit à l'état statique, l'électricité joue un très grand rôle. En se servant de l'électricité dynamique, on rencontre tous les faits d'électrolyse. Nous allons examiner succinctement les résultats obtenus en soumettant les corps simples ou composés à l'action de l'*électricité dynamique:*

1° Lorsqu'il s'agit d'un corps simple il ne peut évidemment pas y avoir de décomposition, mais on remarque que lorsqu'il s'agit de la formation des éléments constitutifs par l'électrolyse, certains corps simples ont une influence spéciale. Dans l'électrolyse de l'eau, si l'on prend du brome, qui est peu conducteur de l'électricité, le brome facilite la décomposition chimique ; en même temps il se dégage de l'acide bromhydrique avec l'hydrogène ;

2° Si l'on prend des composés binaires et qu'on les soumette à l'action de l'électricité, des alliages fondus, par exemple, ils perdent leur homogénéité, c'est-à-dire que, suivant que le corps est soumis à l'action d'un courant positif ou d'un courant négatif, les parties de l'alliage changent, ainsi que ses propriétés.

La soudure des plombiers, par exemple, devient cassante au pôle positif; elle devient, au contraire, ductile et malléable au pôle négatif.

On peut, en se servant de l'électrolyse, préparer certains corps : l'aluminium, le magnésium s'obtiennent par l'électrolyse des chlorures de ces mêmes corps. (Expériences de M. Matthiessen.) Les mêmes procédés ont été appliqués par M. Sainte-Claire-Deville. Enfin, par les mêmes expériences, Faraday a pu obtenir du plomb, du cuivre, de l'argent, de l'antimoine.

Je ferai ici une remarque, à propos de l'antimoine ; lorsqu'on obtient ce corps par l'électrolyse de son chlorure, une certaine quantité de chlore est mise en liberté ; elle fait partie intégrante du corps obtenu et lui donne une propriété explosive.

Ce fait, je le signalerai tout à l'heure encore une fois, lorsque nous parlerons des procédés de cuivrage. Lorsqu'on traite certaines solutions cuivrées par le courant électrique, il arrive que l'acide, généralement minéral, se trouve mélangé au corps lui-même et lui donne certaines propriétés ; lorsque c'est de l'acide sulfurique la fusion du cuivre devient très difficile.

Sur les acides, les bases et les sels, l'action de l'étincelle ou du courant électrique est analogue à celle que nous venons d'indiquer, elle est encore bien plus complexe pour les substances organiques. Je n'insisterai pas davantage sur ce point.

En ce qui concerne l'*électricité statique*, ses rapports avec la chimie sont moins nombreux; aujourd'hui, on paraît être d'accord sur ce point, que l'action de l'étincelle électrique ne doit pas être attribuée précisément à l'électricité, et qu'elle agit plutôt par sa haute température que comme agent électrique, les expériences faites à ce sujet par M. Sainte-Claire-Deville montrent, en effet, que les résultats obtenus par l'étincelle électrique peuvent également être réalisés par une élévation de température considérable et un refroidissement brusque, comme dans les phénomènes de dissociation. — Il y a donc là un point particulier qui tend à démontrer que l'étincelle électrique, c'est-à-dire l'électricité à l'état statique, agit comme agent calorifique plutôt que comme agent électrique. — On constate toutefois que l'étincelle de fortes bobines décompose la vapeur d'eau bouillante, par une électrolyse partielle; les gaz contiennent de l'hydrogène et de l'oxygène; il y a donc là une désoxygénation.

Maintenant, Messieurs, après ces quelques considérations théoriques très sommaires, il est vrai; nous allons arriver aux applications qui sont les plus intéressantes. Nous trouvons, à l'Exposition, des applications de deux ordres d'idées différents : il y a la galvanoplastie et l'électro-chimie. Dans le premier cas, il s'agit du dépôt d'un corps sur un moule, en reproduisant de toute pièce un objet déterminé; dans le second cas, il s'agit précisément de donner un dépôt adhérent sur un objet quelconque métallique ou non. — Si vous le permettez, je prendrai cette dernière application la première, elle est d'ailleurs très répandue et connue de tous; une personne plus autorisée que moi, M. Bouilhet de la maison Christofle et Ce, viendra vous parler ensuite de la galvanoplastie.

II. — Électro-chimie proprement dite.

L'électro-chimie proprement dite a pour but : 1° soit de protéger de l'oxydation certains corps oxydables, comme le fer et la fonte, en déposant à leur surface un autre corps qui les préserve de cet oxyde, 2° d'obtenir toujours à l'aide de dépôts superficiels certaines pièces qui puissent rivaliser avec les pièces galvaniques ou les pièces de bronze; 3° Enfin, comme dans l'argenture et la dorure, arriver à la décoration de pièces artistiques en même temps que l'on empêche l'oxydation du métal sous-jacent.

Cuivrage. — Nous commencerons par décrire les procédés de cuivrage dont en trouve, à l'Exposition, un certain nombre de types différents; ils ont eu précisément les deux buts indiqués précédemment, soit qu'il y

s'agisse simplement de préserver un corps de l'oxydation, soit qu'il y ait lieu de faire une pièce ayant un véritable caractère artistique ; les procédés reposent sur deux principes absolument différents.

Procédé Oudry. — Le premier, le plus ancien, est celui-ci, il est basé sur la remarque suivante : lorsqu'on soumet une pièce de fer ou de fonte à l'action d'un bain de cuivre, on est étonné que le cuivre n'adhère sur l'un ni sur l'autre de ces métaux ; de plus avec les bains de sulfate, on ne saurait arriver à un résultat, puisque sous l'influence du courant électrique, il y a de l'acide sulfurique mis en liberté, et vous savez qu'il attaque énergiquement ces deux corps. On a donc été conduit à recouvrir la pièce à cuivrer d'un enduit isolant, lequel est rendu conducteur au moyen de plombagine ou de toute autre matière conductrice. La pièce, ainsi préparée, a une véritable chemise qui la préserve de l'action de l'acide sulfurique mis en liberté.

C'est de la sorte que M. Oudry a procédé et que les candélabres de la ville de Paris et les fontaines de la place de la Concorde ont été cuivrés. Ce procédé est séduisant, en principe, en ce sens qu'il évite l'action de l'acide entrant dans la composition du bain sur le fer lui-même ; mais, il n'y a pas adhérence ; c'est un véritable maillot, si je puis m'exprimer de la sorte, qu'on a placé sur la pièce que l'on veut protéger, mais cette méthode est, nous devons le dire, industrielle, simple, économique et elle peut, à première vue, paraître très séduisante ; on se sert d'un bain de sulfate de cuivre, c'est bon marché, et il n'y a pas de décomposition partielle du métal sous-jacent sans l'action du courant. Ce procédé est très facile et l'on a cherché à l'employer en ce qui concerne certaines pièces destinées au service de la marine : les essais n'ont point réussi, en ce sens, qu'aussitôt qu'il se produit une solution de continuité sur une pièce cuivrée, tout se détache ; vous enlèverez ainsi tout le cuivrage d'un candélabre, et ceux qui se sont trouvés ici après la guerre de 1870 et la commune, ont pu constater que, sur les candélabres de Paris qui avaient reçu des balles, qui ne leur étaient certes point destinées, la feuille de métal se soulevait et se détachait comme une feuille de papier ou les feuillets d'un livre. C'est là, il faut le reconnaître, un inconvénient des plus sérieux et on ne saurait certes faire usage d'un tel procédé pour cuivrer des pièces ayant un caractère véritablement artistique.

Procédé Weil. — On a cherché si on ne pouvait pas employer des bains alcalins ; au lieu de ceux acides ; M. Weil a fait des expériences nombreuses, lesquelles, si nos renseignements sont exacts, ont été suivies et appliquées, peut-être avec quelques modifications, par le Ministère de la Marine, et je dois dire que les dépenses entraînées par ces expériences se sont élevées à trois ou quatre millions de francs dépensés en pure perte ; on cherchait à rendre adhérentes les deux couches de métal, le métal déposé et le métal sous-jacent, les résultats n'ont pas répondu

aux espérances qu'on en attendait et on en est revenu purement et simplement aux plaques de cuivre laminé, fixées sur la coque dans la partie immergée.

La composition chimique du bain de M. Weil est la suivante : dissolution fortement alcaline contenant du sulfate de cuivre, de l'acide tartrique et un grand excès de potasse ou de soude. Nous devons dire qu'il n'a reçu aucune application industrielle importante. On cuivre également très bien au cyanure, double de cuivre et de potassium, des pièces de fer et de fonte; les résultats paraissent parfaits, pour obtenir des dépôts de faible épaisseur, permettant de passer à la dorure et à l'argenture, mais le procédé ne peut être employé à cause de son prix très élevé pour le cuivrage à forte épaisseur, des statues, fontaines, etc.

Procédé Gauduin, Mignon et Rouart. — C'est en présence de ces procédés que MM. Gauduin, Mignon et Rouart eurent l'idée d'obtenir du cuivrage complètement adhérent et direct sur la fonte ou le fer ; en évitant ainsi l'emploi de l'enduit isolant imaginé par Oudry et en faisant usage de *bains acides*, au lieu d'être *alcalins* comme ceux de M. Frédéric Weil.

Nous allons donner des renseignements aussi complets que possible sur ces derniers procédés qui sont employés par la Société des hauts fourneaux et fonderies du Val-d'Osne, dont les produits sont connus et renommés dans le monde entier. Dès 1873, à l'Exposition universelle de Vienne, elle exposait des groupes cuivrés, dont les dimensions étaient considérables.

Ici, la difficulté était la suivante : pour déposer un corps sur un autre, il faut que la surface du corps sur lequel on veut faire ce dépôt soit propre et exempte d'oxyde, et que, sous l'action même du bain, il y ait un véritable décapage permanent, la pièce rouillée ne donnant jamais un cuivrage parfait; de plus, pour la traiter dans un bain d'acide, il faut que l'acide soit suffisant pour entretenir cet état de propreté que je viens de vous indiquer, mais il faut aussi qu'il ne puisse agir sur le métal. Avec un acide trop énergique, on peut le détruire; c'est ce qui arrive, si on prend un bain de sulfate, l'acide sulfurique attaquant le fer d'une manière absolue.

On a cherché un corps organique, et on s'est arrêté aux bains à base d'acide oxalique. La composition de ces bains est très variable, car les oxalates sont des sels généralement très instables; ils se décomposent au contact même de l'air, et, sous l'influence d'un courant, on conçoit qu'il se produise des phénomènes de décompositon autrement grands que ceux que j'indiquais. On avait eu tout d'abord l'idée d'employer des bains chauffés au bain-marie pour obtenir une température absolument constante. Il faut, en effet, dans un bain de cuivrage ou de galvanisation, avoir non seulement un courant constant, mais encore une température uniforme, suivant que le courant ou que la température varie, les dépôts

changent de qualité du tout au tout. Tels sont les conditions que nous indique la théorie, mais, en pratique, les difficultés apparaissent et les résultats ne sont pas toujours satisfaisants. Il peut être très commode, en effet, de maintenir dans une petite cuve une température constante ; mais, lorsqu'on arrive à des cuves qui renferment 15,000 et 20,000 litres de bain, la solution n'est plus aussi simple et les inconvénients sont nombreux.

Après des recherches lentes, entreprises pendant des années au Val-d'Osne, on est arrivé à employer des bains froids dans lesquels l'acide oxalique est l'élément principal. Maintenant permettez-moi de vous présenter quelques observations générales sur les difficultés qu'on rencontre, lorsqu'on veut cuivrer une pièce.

Il ne faut pas croire que, lorsqu'on dépose une pièce dans un bain et qu'elle communique avec l'anode négative, les dépôts se fassent immédiatement d'une manière régulière, il n'en est rien. Ainsi, si l'on prend une plaque carrée et qu'on la place dans la dissolution, convenable au point de vue chimique, à égale distance des anodes, et avec un courant électrique d'une intensité déterminée par l'expérience, il semble, à première vue, que cette plaque, étant à égale distance des anodes qui doivent donner la communication du courant, va se cuivrer d'une manière régulière, c'est-à-dire, que le cuivre va se déposer sur tous les points de sa surface avec la même épaisseur et de la même façon : les résultats démontrent le contraire ! Si l'on prend cette plaque et qu'on l'examine avec attention en suivant le travail progressif du dépôt, on s'aperçoit que les angles commencent seuls par se cuivrer, la couche s'étend de plus en plus vers le centre, et le centre se couvre le dernier. Si on fait une section suivant la diagonale, on s'aperçoit qu'aux extrémités de celle-ci l'épaisseur de la couche déposée est bien plus grande qu'en son milieu.

On voit donc que pour cuivrer une simple plaque, il y a là une difficulté ; il se produit un phénomène comme dans la polarisation de la lumière à travers une plaque de verre, la polarisation commençant par les angles ; dans la trempe des pièces il y a un fait semblable et le cuivrage suit une marche analogue.

Pour arriver à un cuivrage parfait, il faudrait, au lieu d'employer des plaques planes servant d'anodes, se servir de plaques ayant la forme de paraboles, de manière que la distance de l'anode à la pièce fût proportionnelle à la résistance du courant, en chaque point de celle-ci.

Si on a des difficultés de ce genre sur les pièces simples que je viens d'indiquer, à plus forte raison en rencontre-t-on de plus grandes lorsqu'il s'agit d'une statue ; on est forcé alors de recourir à une série d'artifices, d'employer de petites anodes qui viennent épouser toutes les parties creuses du modèle de manière à avoir ainsi une couche régulière.

Le seul inconvénient qu'on pourrait reprocher aux bains à base organique, c'est que le dépôt doit être fait très lentement, et qu'au bout d'un temps déjà long, la couche est d'une épaisseur très faible.

Ainsi, pour une statue de $1^m,60$ à $1^m,80$ de hauteur, il faut deux mois

pour obtenir une couche de 0m,005 d'épaisseur. A l'origine on avait cherché à faire une première couche au bain organique et une seconde couche au bain de sulfate. Le sulfate de cuivre se décompose très bien ; ainsi que vous vous le rappelez, par ce qui précède on a fait des essais qui selon moi ne donnent point les meilleurs résultats, attendu que les deux couches de cuivre déposées ont une nature cristalline différente ; dans le premier cas, avec un bain organique, vous avez des lames de cuivre dont la malléabilité n'est pas la même que celle du métal provenant d'un bain de sulfate ; vous avez dans ce dernier cas un dépôt de cuivre d'une structure physique différente, présentant l'aspect de petits nodules ronds superposés de telle sorte que si vous dépouillez une pièce cuivrée de cette manière, vous pouvez séparer, en la pliant, le cuivre provenant de l'un ou de l'autre bain.

Il se passe des phénomènes de contractions moléculaires également très curieux à signaler. Si on a un cylindre à cuivrer, par exemple, en supposant que les anodes conductrices soient placées parallèlement aux génératrices, le cuivre va se déposer inégalement sur la surface, et au bout d'un certain temps, on constate des solutions de continuité sur le cylindre dans le sens même des génératrices. Cela tient à ce que vous avez des parties plus éloignées des anodes que d'autres ; vous avez une couche de cuivre qui va en augmentant dans la partie la plus rapprochée de l'anode pour aller en diminuant vers le point le plus éloigné, et, sous l'influence de ce dépôt inégal, il y a une sorte de contraction du métal, qui produit les gerçures, des craquelures dans la direction que je viens de vous indiquer. Je vous présenterai à l'Exposition, des pièces importantes, cuivrées d'une manière complète par le procédé Gauduin, Mignon et Rouart, des plaques qu'on a pu soumettre à l'action du laminage, au travail à la frise sans qu'il y ait eu séparation entre le métal déposé et celui sous-jacent.

Vous trouverez donc, à l'Exposition trois spécimens de cuivrage : les pièces qui sont obtenues par le procédé de M. Oudry, qui consiste à interposer une couche isolante entre les deux métaux ; puis quelques échantillons de pièces obtenues par les bains alcalins de M. Weil ; enfin, des groupes remarquables, au point de vue artistique et des difficultés de cuivrage, exposés par la Société du Val d'Osne, et obtenus en faisant usage des bains organiques acides.

Voilà donc les trois procédés qu'on emploie en France. Vous en trouverez également des spécimens en Belgique ; mais je crois pouvoir affirmer que les bains employés sont les mêmes que ceux dont on fait usage en France.

Galvanisation. — Argenture et dorure. — Une autre question plus importante, jusqu'à présent du moins, que celle du cuivrage, est celle de la galvanisation proprement dite. Je suis fort embarrassé, je dois l'avouer, pour traiter ici d'une manière complète tous les procédés dont on a fait ou dont on fait encore usage, je n'avais pas préparé cette question ; fort heureuse-

ment que M. Bouilhet, l'éminent ingénieur et chimiste, que vous connaissez, a fait, il y a quelque temps, un exposé complet des procédés de la maison Christofle : je ne puis mieux faire que de répéter ce qu'il a dit lui-même, en réclamant toutefois toute votre bienveillance.

Vous savez qu'autrefois, on n'employait presque exclusivement que la dorure et l'argenture au mercure pour obtenir un dépôt d'or ou d'argent sur les pièces de cuivre ou d'orfèvrerie; pendant fort longtemps, cette méthode a été en usage, et nous devons le déclarer, elle a donné de très beaux produits ; mais il en résultait des dangers très sérieux au point de vue de la santé des ouvriers, il était donc tout naturel de voir abandonner cette manière de procéder dès que la découverte de MM. Elkington frères, a été appliquée industriellement, et c'est le résultat auquel on est arrivé aujourd'hui.

Nous allons donc indiquer les recherches faites pour arriver à la dorure et à l'argenture galvaniques ; qui, d'ailleurs, doivent rentrer seules dans le sujet que nous avons à traiter. Lorsque, il y a cinquante ans, on a été en possession de la pile de Volta, on a cherché immédiatement à savoir si l'on pourrait arriver, au point de vue spécial qui nous occupe en ce moment, à des résultats pratiques en se servant du courant électrique.

Les premiers essais faits avec la pile de Volta n'ont pas été satisfaisants, parce que l'intensité du courant était variable; il faut en effet, ainsi que nous avons pu le voir en nous occupant du cuivrage, un courant absolument constant, si vous avez un courant variable, alors que le métal doit être par sa nature même très malléable, vous arrivez à un dépôt pulvérulent et cassant; ainsi donc un corps chimiquement pur, dans tous les cas, peut se présenter sous des aspects différents ; la structure cristalline varie pour ainsi dire à l'infini, suivant la nature même du sel que l'on décompose.

En 1840 après des expériences faites en Angleterre et en France, et après la découverte de la pile Daniell, le professeur Jacobi, de Saint-Petersbourg, commençait des expériences sur la décomposition des sels métalliques qui furent couronnées de succès et qui furent la base de la galvanoplastie dont nous parlerons un peu plus tard.

Procédé Elkington. — A la même époque (27 septembre 1840) MM. Henri et Georges Elkington prenaient en Angleterre et en France des brevets pour dorer et argenter en décomposant par la pile les cyanures alcalins d'or ou d'argent. La dorure et l'argenture galvaniques étaient trouvées, et elles devaient remplacer rapidement les méthodes jusqu'alors employées.

Au sujet de cette découverte scientifique si importante, nous devons rappeler qu'en 1841, M. de Ruolz en France fit breveter des procédés analogues à ceux de MM. Elkington frères ; la vérité nous oblige à déclarer qu'il connaissait parfaitement les travaux de ces derniers et si dans le public le nom de M. de Ruolz est presque seul connu, au point de vue de

servir à désigner le produit lui-même, il faut dire que l'*inventeur français* a joué auprès de MM. Elkington frères, le même rôle que celui d'Améric Vespuce auprès de Christophe Colomb.

La maison Christofle appliqua immédiatement les procédés de MM. Elkington et je vais tout d'abord vous citer quelques chiffres qui sont très utiles à connaître au point de vue de l'importance de l'industrie qu'elle a créée dans notre pays. A Paris, l'usine de MM. Christofle et Cie, dépose annuellement, à elle seule, 6,000 kilogrammes d'argent pur; depuis l'époque de sa fondation, c'est-à-dire, depuis 1842, elle a mis en œuvre 169,000 kilogrammes de métal; en calculant ces dépôts à raison de 3 grammes par décimètre carré, la surface totale recouverte par les produits de cette seule usine représenterait 56 hectares. Les renseignements recueillis dans ces dernières années donnent, pour Paris, 25,000 kilogrammes de métal employé en dépôts galvaniques; et, sur toute la surface du monde, on arrive à un dépôt annuel de 125,000 kilogrammes d'argent, soit 25 millions de francs.

Les procédés sont excessivement simples : on emploie, comme nous l'avons dit précédemment, des solutions alcalines de cyanure d'or ou d'argent dans le cyanure de potassium. Ces bains sous l'action du courant électrique, se décomposent et déposent le métal d'une manière parfaite au double point de vue de la qualité et de la solidité.

Il est maintenant certains faits particuliers sur lesquels je dois appeler votre attention; pendant bien longtemps, on s'est contenté simplement de déposer de l'*or jaune* et de l'*argent blanc* : mais aujourd'hui, grâce au luxe qui se répand de plus en plus, ces objets, qui deviennent de véritables œuvres d'art, présentent une décoration beaucoup plus riche; on a été conduit à chercher si on ne pourrait pas déposer des métaux ayant des teintes diverses, c'est-à-dire, de l'*or rouge*, de l'*or vert*, de l'*or gris*, etc., etc. La maison Christofle y est parvenue, et dans tous les objets d'art qu'elle livre à la consommation on trouve ce caractère particulier, c'est que les différentes teintes sont obtenues d'une manière chimique et rationnelle.

Ainsi, par exemple, si l'on veut obtenir des dépôts d'*or vert*, on procède de la manière suivante : dans un bain d'or jaune fonctionnant d'une manière parfaite, on fait passer un courant électrique pendant plusieurs heures, en mettant au pôle positif une lame d'argent qui se dissout peu à peu, entre dans la dissolution du bain, et au bout de quelque temps, on s'aperçoit qu'au lieu d'un bain d'or jaune, on a un bain d'or vert. Si on veut déposer de l'*or rouge*, on fait comme ci-dessus passer pendant un certain temps, déterminé expérimentalement par la teinte à obtenir, un courant électrique dans un bain d'or jaune ordinaire, et on met au pôle positif une lame de cuivre qui se dissout, à son tour le bain ainsi constitué donne un dépôt d'or rouge.

Vous voyez donc que le principe est excessivement simple. Lorsque l'on arrive ainsi à des bains composés, l'expérience fait connaître certains

faits particuliers, sur lesquels je crois devoir appeler un instant votre attention. Ainsi, par exemple, lorsqu'on veut déposer des alliages de laiton et de bronze, la composition chimique du bain paraît être l'inverse au point de vue de la proportion des éléments qui rentrent dans sa composition, de celle du corps déposé; c'est-à-dire que, si on avait un alliage renfermant trois parties de cuivre et une partie de zinc, le bain, pour déposer ledit alliage, devrait renfermer trois parties de zinc et une partie de cuivre. C'est évidemment là un résultat d'autant plus curieux qu'il paraît plus anormal. Les colorations obtenues de cette manière sont durables et évitent, au point de vue de la fabrication, une perte de temps considérable; elles apportent de plus une économie très grande dans le prix de revient de ces objets.

Cloisonnés. — Mais là ne s'arrêtent pas tous les progrès réalisés par la maison Christofle, et nous avons encore beaucoup à dire à ce sujet. Il arrive que dans certains cas, on a certains vases à décorer d'incrustations ou de mosaïques, on est arrivé, à faire ce travail d'une manière très simple. Si l'on a un vase sur lequel on veut faire des dessins d'or et d'argent incrustés, on prend le vase en bronze qu'on veut décorer de la sorte, et on trace avec de la gouache le dessin à obtenir. Une fois que la gouache est devenue adhérente, on revêt toutes les autres parties d'un vernis isolant, qui n'est pas attaquable à l'acide. On plonge la pièce ainsi préparée dans un bain acide qui enlève la gouache, creuse les parties du dessin non isolées de vernis en produisant des alvéoles; on porte ensuite la pièce dans un bain d'or ou d'argent à allures très lentes, et l'or ou l'argent, suivant le cas, se dépose dans les petites alvéoles et adhère dans les parties creuses, qui se trouvent peu à peu remplies. Il ne reste plus qu'à procéder à la lime à l'enlèvement des parties qui peuvent dépasser les contours des alvéoles et on a ainsi un objet d'une grande valeur, reproduisant le damasquinage et les plus belles incrustations japonaises.

On peut de la sorte faire également des moules, car, lorsqu'on a gravé tous les petits dessins en creux, on peut, à l'aide de la galvanoplastie, reproduire les pièces à un très grand nombre d'exemplaires.

III. — **Galvanoplastie.**

Voilà donc ce que nous avions à vous dire en ce qui concerne l'argenture, la dorure et leurs principales applications; nous allons passer maintenant à l'examen de procédés de galvanoplastie, c'est-dire à l'étude de la partie de l'électro-chimie qui s'occupe de la reproduction des pièces. Les résultats atteints sont d'une grande importance, en ce sens qu'on est arrivé à reproduire d'un seul jet et d'une manière parfaite, des pièces de dimensions considérables. Il y a un certain nombre d'années, on se contentait, lorsqu'on voulait faire une statue, de prendre une empreinte en gutta-

percha représentant une partie assez restreinte de la pièce; on déposait le cuivre sur cette partie de la pièce, et quand tout l'ensemble avait été ainsi obtenu par parties on les réunissait entre elles par la soudure pour arriver à une reproduction intégrale.

En 1858, M. Lenoir eut l'idée de faire de toutes pièces soit une statue, soit un vase creux. Si l'on prend une pièce en ronde basse telle qu'un vase ou une statue dont on a le moule extérieur, obtenu en gutta-percha, le problème à résoudre est le suivant : il faut venir déposer une couche de cuivre à l'intérieur et également dans toutes les parties. Il y a là une difficulté très grande, car il faut que le dépôt se fasse d'une manière constante dans les conditions que nous venons d'indiquer, et si l'on fait de part en part traverser simplement le moule par une tige formant anode on n'arrive à aucun résultat.

C'est alors que Lenoir eut l'idée de construire à l'intérieur du moule une carcasse en fil de platine, épousant exactement sa forme à une certaine distance de ses parois.

Le moule, ainsi préparé, et métallisé par une couche de mine de plomb sur la gutta-percha est placé dans un bain de cuivrage ordinaire (sulfate de cuivre) ; le cuivre se dépose sur le moule d'une manière parfaite. Mais, lorsqu'il s'agit de reproduire une statue tout entière, de grandes dimensions, il y a là une difficulté ou pour mieux dire un obstacle considérable. Le fil de platine coûte cher, et lorsqu'on a une opération qui dure cinq ou six semaines, c'est un capital important immobilisé, qui représente, pour beaucoup d'industriels, une dépense très grande, puisque pour certains groupes, l'anode en platine représenterait une dépense de 50 ou 60,000 francs.

A cette époque, la maison Christofle se trouvait en rapports avec M. Gaston Planté, qui eut l'idée d'employer, au lieu d'anodes en fil de platine, des anodes en plomb. Le plomb est un métal très malléable, et il a l'avantage de ne s'oxyder que très peu sous l'action des bains. Le platine a l'avantage de ne point s'oxyder, mais enfin il coûte cher, et parmi les métaux communs, le plomb seul jouit de propriétés telles qu'on a pu l'employer dans la galvanoplastie, on peut lui faire prendre toutes les formes, et on a fait des anodes en plomb percées de trous de manière à assurer la circulation du liquide tout autour du moule ; anodes isolées au moyen de petits supports en gutta-percha; on reproduit ainsi des statues de grandes dimensions.

Nikelure. — Je dirai maintenant un mot sur les procédés employés pour déposer le nickel.

Le nickel est un métal qui, aujourd'hui, semble appelé à jouer un grand rôle dans l'industrie, au point de vue de son emploi comme métal et de son application pour protéger de l'oxydation les autres métaux. Il y a tout d'abord un résultat d'expérience sur lequel j'appelle votre attention.

Lorsque l'on veut nickeler une pièce, il faut avoir bien soin qu'elle soit

propre et bien nette ; car, au lieu de protéger le métal contre l'oxydation, on favoriserait plutôt cette oxydation.

Il en est de même avec le platine; ainsi, si l'on veut déposer une couche de platine sur une pièce de fer ou de fonte, il faut que la pièce soit rendue auparavant inoxydable, autrement, sous l'action du courant électrique qui est dégagé par la pile sèche ainsi formée, l'oxydation serait beaucoup plus rapide que si l'on n'avait pas recouvert la fonte ou le fer d'un métal qui par lui-même est inoxydable.

On a beaucoup discuté sur la composition des bains de nickel; aujourd'hui, leur composition est simple : ce sont des *bains neutres* de sulfate double de nickel et d'ammoniaque; c'est la partie essentielle pour obtenir un dépôt de nickel très résistant.

La présence de potasse et de soude empêchait, on l'a cru du moins, autrefois, les dépôts de nickel; aujourd'hui, il est démontré que c'est une erreur.

Pour les opérations que nous venons de décrire, nous devons ajouter que pendant fort longtemps on s'est servi des piles; c'est toujours coûteux; aujourd'hui on emploie la machine Gramme, qui, à courant régulier, peut produire des pièces en cuivrage et en galvanoplastie.

Dans les établissements du Val-d'Osne, on faisait à l'origine usage de piles pour la décomposition des bains; on avait des batteries qui en comportaient ensemble trois cents, et il fallait trois hommes pour le service d'entretien; avec la machine Gramme, aujourd'hui employée, on obtient une économie considérable.

Tels sont, Messieurs, les renseignements que je puis vous donner. Cette après-midi, en parcourant l'Exposition, nous pourrons voir les résultats obtenus dans les diverses applications, que je viens de vous indiquer.

M. le Président remercie M. Douau, de sa communication personnelle et d'avoir bien voulu résumer ce que M. Bouihlet devait venir nous dire aujourd'hui; il a été retenu ce matin, mais les ingénieurs de la maison Christofle seront cette après-midi à l'Exposition et nous donneront tous les renseignements nécessaires.

Je crois que si quelqu'un ici pouvait ajouter quelques détails sur la question de la transformation de la pile, de la substitution de la machine à la pile, ce serait très intéressant; c'est ce qui a donné lieu à une grande industrie; la transformation de l'électro-chimie en électro-métallurgie. L'emploi des machines Gramme à l'électro-chimie demanderait quelques renseignements, quelques chiffres, nous montrant sous quelle forme l'électricité peut jouer son rôle dans cette branche de l'industrie.

Nous avons parlé de l'électricité à grande tension...

M. Douau. Je pourrais peut-être vous donner quelques détails à ce sujet.

Lorsqu'on s'est occupé du cuivrage, lorsqu'on a eu précisément employé des machines électro-magnétiques au lieu de piles, un problème s'est posé; le même d'ailleurs que lorsqu'on fait usage d'un grand nombre de piles, c'est le suivant : doit-on avoir de l'électricité à haute tension ou, au contraire, doit-on utiliser l'électricité en quantité, c'est-à-dire avec une faible tension?

Je dois dire que, dans les Établissements dont je me suis occupé, et spécialement à la Société des hauts fourneaux et fonderies du Val-d'Osne, que nous avons déjà citée, les premières années, on a marché avec l'électricité en quantité. Le volume des bains est considérable. Les moindres d'entre eux ont une capacité correspondant à 10,000 et 12,000 litres; il y a cinq cuves dans ces conditions, la plus grande contenant 20,000 litres. Avec l'électricité en quantité, nous ne sommes jamais arrivés à des résultats parfaits, attendu que l'action du courant n'est pas assez régulière, pas assez constante.

Lorsqu'on veut déposer du cuivre, par exemple, il faut remplir certaines conditions indispensables dont nous allons indiquer les principales : 1° la température doit être constante; 2° l'état de saturation du bain doit également rester absolument le même; suivant que cet état varie on constate des déperditions, et sous l'action d'un courant en quantité, les résultats peuvent laisser à désirer surtout pour les pièces importantes. Lorsque nous avons transformé notre outillage, nous avons employé la machine Gramme et monté nos cuves en tension.

Nous ferons remarquer incidemment que dès le commencement de 1878, une transmission de mouvement à distance par l'électricité (100 mètres environ), était installée au Val-d'Osne, pour actionner la machine Gramme, qui doit fournir l'électricité nécessaire.

Le courant employé correspond à une déviation de 20 degrés au galvanomètre de Bréguet.

M. le Président. Que représentent 20 degrés?

M. Douau. A l'époque où la Société du Val-d'Osne a installé son atelier de cuivrage, les données scientifiques pour la mesure des forces ou unités électriques étaient des plus vagues, il ne m'est donc pas possible de répondre d'une manière précise à la demande de M. le Président.

On a, par la force même des choses, dû employer simplement le galvanomètre ordinaire, et à défaut de renseignement scientifique précis, j'ai cru devoir indiquer le chiffre cité plus haut et qui correspond aux expériences faites.

J'ajouterai simplement qu'en employant un courant à une tension de 6, 7, 8 degrés, au même galvanomètre, on n'arriverait pas à de bons

résultats pour des groupes ou statues, d'hommes ou animaux dont les dimensions sont plus grandes que nature.

Il est maintenant un fait assez curieux que je signalerai ici : lorsque par exemple, la résistance au courant pour traverser le bain est trop considérable, il se produit une inversion des pôles, dans la machine Gramme, alors que le mouvement de rotation s'effectue toujours dans le même sens. Ainsi, lorsque, sous l'influence d'une différence de la température, le courant est diminué, alors qu'il y a de grandes pièces dans le bain les pôles sont inversés, et le pôle positif devient le pôle négatif et *vice versa*, et, au lieu de cuivrer les pièces, on les décuivrerait si les choses étaient laissées ainsi dans l'état pendant un certain temps. Il est alors très difficile de ramener les choses en état; c'est pour ainsi dire par un véritable artifice que l'on fait reprendre à la machine Gramme son allure normale; c'est un phénomène très curieux et nous avons cru devoir le signaler en passant.

Quant aux dépôts obtenus au moyen des machines magnéto-électriques, ils sont excessivement prompts et rapides, en même temps le métal déposé est de qualité supérieure; mais ici, on rentre dans des applications nouvelles de l'électricité, dans des procédés nouveaux dont certaines industries ont pu tirer un parti considérable ; ainsi, pour obtenir des plaques de cuivre chimiquement pur, on ne se sert plus aujourd'hui des procédés métallurgiques proprement dits, qui sont connus de tous, mais de ceux électro-chimiques, c'est-à-dire qu'au lieu d'avoir du cuivre traité par la méthode métallurgique, on prend simplement une dissolution de sulfate de cuivre et on dépose le métal chimiquement pur, mais je crois devoir rappeler ici la remarque que j'ai faite en commençant, lorsque j'ai exposé certaines considérations générales sur les décompositions des composés binaires, sous l'influence du courant électrique.

Il y a un établissement tout à fait hors ligne, modèle entre tous et que je dois citer, pour l'application qu'il a faite des procédés électro-chimiques, c'est celui de MM. Œsgher, Mesdach et Cie, il représente ce qu'il y a de plus parfait, les installations en sont très importantes, puisque c'est par centaines de kilogrammes par jour qu'on dépose le cuivre par la voie galvanique.

Là encore, la méthode des piles a été abandonnée, et la machine Gramme a été adoptée. Pour nous donner une idée de cette substitution, qui a été faite dans tous les établissements importants d'électro-chimie ou de galvanoplastie, permettez-nous en terminant de signaler l'application qui en a été faite chez MM. Christofle et Cie, la machine Gramme type devait donner un dépôt de 500 grammes d'argent à l'heure, avec une vitesse de 500 tours, et il est presqu'inutile d'ajouter que ce résultat a été immédiatement obtenu.

Dans les établissements de MM. Œsgher, Mesdach et Cie, on ne se contente pas de si faibles vitesses; dans la visite qui sera faite ce soir, vous

verrez a l'Exposition des plaques de cuivre, qui ont $1^m,50$ à 2 mètres de côté, 7 à 8 millimètres d'épaisseur, et qui ont été traitées de cette manière. Nous vous ferons de plus remarquer que toutes les fois que vous vous trouverez en présence de plaques de cuivre dont la structure cristalline présente des parties arrondies semblables à de petits rognons juxtaposés, vous pourrez affirmer qu'elles ont été obtenues par la décomposition chimique d'un bain de sulfate de cuivre.

M. le Président résume en quelques mots la note remise par M. Létrange sur l'application de l'électricité à la métallurgie du zinc[1].

La séance est levée à onze heures.

1. Cette communication a été insérée *in extenso* dans le procès-verbal de la séance du 2 décembre 1881, page 602.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Résumé paraissant les premier et troisième vendredis de chaque mois.

SÉANCES - VISITES A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

PROCÈS-VERBAL DE LA 12e SÉANCE

tenue le Mardi, 15 Novembre 1881

au Siège de la Société.

PRÉSIDENCE DE M. Henri MATHIEU

La séance est ouverte à 10 heures du matin.

M. LE. PRÉSIDENT. L'ordre du jour appelle la communication sur le *Peseur automatique*, de MM. Vaillant, Leclerc et Gourdon.

M. VAILLANT. Avant de vous décrire le *peseur automatique*, j'ai besoin de vous montrer l'un des intérêts qui lui a donné naissance et, par suite, de vous dire un mot d'un établissement dont j'ai dirigé la construction en qualité d'architecte.

La Compagnie générale des voitures a construit, à Montmartre, un grand établissement industriel où elle centralise toutes les denrées qui servent à l'alimentation de sa cavalerie. Le but qu'elle se proposait, et qu'elle a presque complètement atteint, peut être résumé de la manière suivante :

1° Le contrôle de la quantité et de la qualité des denrées qu'elle reçoit;

2° Leur emmagasinage et leur conservation;

3° Leur nettoyage.

La Compagnie attache une importance considérable au nettoyage de ses denrées. Elle considère avec raison que la nourriture de ses chevaux ne doit contenir que des matières aussi pures que possible; grosse question d'hygiène qu'il fallait résoudre non seulement pour éviter de faire ingérer par les chevaux des matières inertes ou nuisibles, mais encore

pour pouvoir définir avec quelque exactitude la quantité de chaque denrée composant la ration.

4° L'analyse des denrées;

Leur valeur nutritive étant variable, la Compagnie s'est organisée pour mesurer ces variations par des analyses, afin d'en tenir compte dans la composition des rations. Le laboratoire d'analyses, qu'elle à créé dans ce but à la Manutention, lui permet en même temps d'évaluer la valeur vénale des grains et des fourrages qu'elle achète, avant de faire ses approvisionnements.

5° La préparation des rations.

Ce travail consiste dans le hachage des fourrages, le concassage des maïs et des féveroles, leur mélange avec l'avoine pour former la ration et, au préalable, le mesurage de chaque denrée en proportion définie.

C'est ici que doit intervenir l'appareil que l'ordre du jour appelle le *pèse-ration*, nom justifié par son objet particulier, bien qu'en réalité le principe de sa combinaison puisse être utilisé pour tout appareil destiné à peser automatiquement des matières divisibles et à les mélanger en proportions diverses.

Mais je dois dire que le *pèse-ration* exposé par les inventeurs n'est qu'un essai. Tel qu'il est, il ne peut donner industriellement le résultat cherché. Il a besoin d'être modifié dans quelques-unes de ses parties essentielles. Je vous indiquerai ces modifications tout à l'heure.

Jusqu'à nouvel ordre, la Manutention de la Compagnie générale des voitures fait ses mélanges par masse. On pèse les quantités nécessaires à la ration d'un certain nombre de chevaux à la fois. Les grains sont mélangés, puis on les fait écouler en nappe sur le fourrage haché amené mécaniquement dans le grenier; le mélange est parachevé par un pelletage suffisant, puis dirigé dans des ensacheurs.

Ce procédé très rapide et très simple donne d'assez bons résultats. Les nombreuses analyses que la Compagnie a fait faire par différentes méthodes ont indiqué que la composition des rations était sensiblement constante, ce qui supposerait un mélange assez parfait.

Mais la Compagnie voudrait arriver à une certitude que le procédé que je viens de décrire ne peut évidemment pas lui donner. Son but est de pouvoir, quand elle le veut, *varier* la proportion des six denrées dont elle compose la nourriture de sa cavalerie; de préparer cette nourriture en ration d'un repas par chaque cheval; et enfin, de *peser* chacune de ces six denrées pour que chacune des rations ait, très exactement, la composition qu'elle a arrêtée à l'avance.

Pour réaliser mécaniquement ces diverses conditions, il faut résoudre un certain nombre de problèmes très difficiles; je ne puis indiquer que ceux particuliers à la machine qui nous occupe.

La Compagnie générale des voitures à Paris a, dans ses 18 dépôts, 10,000 chevaux en moyenne; chaque cheval fait quatre repas par jour, chaque ration se compose de six denrées. Il faut donc préparer 40,000 rations et faire 240,000 pesées.

Tout industriel imaginera facilement ce que peut être l'énorme travail que constitue l'exécution journalière de 240,000 pesées. On s'en fera une idée assez juste en comparant le travail de la mesure par le volume avec celui de la mesure par poids qui est exigé. Par volume, l'appareil nécessaire a été assez facilement imaginé. Il n'en a pas été de même de celui dont j'ai à vous entretenir.

Il y a 40,000 repas chaque jour, donc 40,000 rations. Chaque ration, composée de six denrées, suppose nécessairement six pesées séparées et faites simultanément, pour ensuite être réunies dans un même récipient. Or, les pesées étant toutes différentes, variables à volonté, et de matières diverses exigeant des temps différents. N'oublions pas qu'il s'agit ici de maïs, de fèves, de paille, d'avoine, de tourteaux et de foin, matières difficiles à manier, surtout la paille et le foin; observons que le poids de chacune des denrées entrant dans le mélange, ne dépasse pas 1,000 grammes.

Ces conditions obligeaient donc :

A avoir des balances d'une certaine sensibilité;
A faire les pesées des 6 denrées simultanément;

A faire régler mécaniquement l'appareil par les balances, sans que leur sensibilité en soit trop affectée.

Cette dernière condition était délicate à réaliser. On peut trouver un dispositif qui y satisfasse par des organes mécaniques. Mais il est évident que si ces organes permettent de conserver la sensibilité des balances, leur délicatesse, (indispensable à cette sensibilité), s'opposerait à un travail réellement industriel.

C'est alors que les inventeurs ont songé à employer le merveilleux agent, qu'on appelle électricité, comme intermédiaire entre la balance et les pièces mécaniques qui constituent le peseur automatique.

Voici maintenant la combinaison de l'appareil :

Au moyen d'oscillations ou d'un mouvement convenablement choisi pour la matière à peser, on fait successivement choir de la trémie qui la contient, des petites quantités dont l'importance constitue l'erreur maximum qu'on admet, (n'oublions pas que nous n'avons pas à faire ici de la précision, elle n'est que relativement nécessaire). Chaque chute se fait sur le plateau d'une balance. Sous l'influence des charges successives reçues par le plateau, celui-ci tend à descendre et à reprendre graduellement son équilibre. A ce moment, il a reçu, à une chute près, en plus ou en moins

la quantité de denrée que comporte la tare. Alors un contact s'établit, ferme un circuit, par lequel un électro-aimant fait déclencher une trappe qui vient fermer la trémie. La pesée est faite.

Que six balances, semblablement disposées, soient montées ensemble, on pèsera de la même manière six denrées. Pour les réunir voici le dispositif imaginé :

Chacune des pesées ayant été faite, pendant des temps différents, les balances ont successivement pris la position d'équilibre ; elles ont successivement fermé une partie d'un second circuit, qui n'est complètement fermé que quand la dernière pesée est terminée. Alors un second courant s'établit, cause le déclenchement des leviers qui renversent les six plateaux à la fois.

Sous l'appareil on a disposé une toile sans fin, animée d'un mouvement continu ; c'est sur cette toile que les denrées pesées tombent, pour être conduites et rejetées ensemble dans le récipient qui doit les contenir.

Cette succincte description suffira pour faire comprendre la marche de la machine exposée.

Les inventeurs ne pouvaient songer à fabriquer des rations à l'Exposition, aussi ils ont négligé les parties accessoires qui complètent leur appareil.

Les essais qui ont été faits ont montré les imperfections qu'il fallait corriger. Ainsi, par exemple, le système des électro-aimants adoptés, nécessitait une trop grande dépense d'électricité et causait des irrégularités dans la marche ; il fallait modifier la disposition des contacts sur lesquels la poussière qui se déposait interceptait le courant.

Nous avions aussi adopté le système Robertwald pour notre balance, en le modifiant un peu, mais cette balance n'est pas stable et elle exige beaucoup de place.

Les balances de l'appareil exposé ont été remplacées par d'autres du système Coulon, qu'on trouve depuis peu de temps dans le commerce. C'est une balance avec fléau et curseur, sans poids par conséquent. Les organes très simples, très robustes, faciles à changer ou à réparer, sont disposés de telle sorte que la balance présente une stabilité parfaite. Cet appareil est certainement appelé à rendre de très grands services.

Dans la machine que nous construirons, peut-être, nous nous proposons de remplacer les électro-aimants ordinaires, dont nous nous sommes servis, par des aimants Hughes. Le courant sera alors employé simplement pour supprimer l'excès de force qui retient au contact des aimants, les armatures qui déclenchent les trappes et les leviers.

Vous voudrez bien observer, Messieurs, que l'électricité n'a pas ici d'autre fonction que celle de mettre en communication, d'un côté, des organes qui doivent conserver toute leur sensibilité et leur délicatesse pendant le travail qu'ils effectuent, de l'autre côté, d'autres organes nécessairement robustes, mus par une transmission travaillant industriellement. Deux conditions indispensables pour peser mécaniquement.

Je ne crois pas devoir entrer plus avant dans les détails de la machine, vous l'avez sans doute vue à l'Exposition. J'ajouterai cependant que les rations qu'on a faites pendant les essais permettent de croire qu'on arrivera, avec une erreur inférieure à 2 pour 100, à faire 2 à 3 rations par minute. En admettant cette quantité extrême de 3 rations, 10 heures de travail effectif, chaque machine pourrait produire, par jour, 1800 rations. La Manutention aurait donc besoin de 23 peseurs au moins, pour fournir à chaque repas, à chacun de ses 10,000 chevaux, une ration normale convenablement préparée et parfaitement dosée.

M. le Président. — Messieurs, nous voici arrivés au but que nous nous étions proposé : le programme que nous avions arrêté, dès le commencement de nos séances, a été poursuivi et exécuté. Dans les douze conférences qui ont eu lieu et dans les visites qui les ont suivies, nous avons examiné les matières qui composent toutes les classes du catalogue de l'Exposition, à l'exception, seulement, de celle qui touche à l'art médical et qui, par conséquent, n'est pas pour nous d'un intérêt immédiat.

La première séance a eu lieu le 23 septembre, elle a été ouverte par M. Marché, Vice-Président, qui vous a exposé le but de nos conférences.

M. Williams Siemens, de Londres, un des plus émiments représentants de la science, a occupé, ensuite, le fauteuil, comme Président honoraire, et a résumé, dans une introduction humoristique, les principaux phénomènes de l'Électricité, son rôle actuel et son avenir.

M. Armengaud jeune, après M. Siemens, a pris la parole, et vous a décrit les principes généraux qui servent de base à la théorie de l'Électricité et du magnétisme.

Dans la deuxième séance, M. Niaudet vous a fait, avec une grande compétence et une grande netteté, l'histoire de la pile électrique. Il vous a décrit d'abord la pile due à Volta, et ensuite les améliorations successives qu'y ont apportées les savants physiciens des divers pays. Ces piles ont été désignées sons le nom de piles primaires.

M. Reynier a complété cet historique par la description des piles secondaires ou accumulatrices, lesquelles ne produisent pas d'électricité, mais l'emmagasinent pour être, ensuite, utilisée.

Dans la visite qui a suivi cette conférence, vous vous êtes arrêtés, avec intérêt, devant l'accumulateur de M. Planté, et devant celui de M. Faure qui est basé sur les mêmes principes que le précédent.

La troisième séance a été réservée à l'examen des générateurs, des moteurs et des transmissions, au moyen desquels les machines et les appareils exposés sont mis en mouvement. M. Parent s'est occupé des moteurs à vapeur ; MM. Arson et Ravel des moteurs à gaz. La visite à ces différents appareils a été dirigée par MM. Parent et Arson qui ont complété, sur place, les renseignements qu'ils avaient donnés dans leur conférence.

L'électrométrie a été l'objet d'une séance spéciale, dans laquelle M. Monnier (Démétrius) vous a indiqué la nomenclature des unités nouvelles que le Congrès international venait d'adopter pour la science électrique.

La cinquième séance a été consacrée à l'Exposition des machines dynamo et magnéto-électriques. M. Frank Géraldy, avec une grande élégance et une grande autorité de parole, vous a exposé la théorie complète de ces machines, leurs ressemblances et leurs dissemblances.

M. Boistel vous a présenté ensuite la machine dynamo-électrique imaginée par M. Siemens, et M. de Méritens vous a décrit la machine magnéto-électrique qu'il construit avec tant de succès et avec une rare perfection.

Après avoir examiné, dans ces premières séances, les principes généraux de l'électricité, les forces qu'elle développe, les appareils qui ont été construits pour la faire naître et la recevoir, nous avons abordé les applications que l'industrie a réalisées. C'est ce qui a fait l'objet des conférences qui vont suivre.

Dans la sixième conférence MM. Lartigue et Napoli vous ont expliqué les diverses applications de l'électricité aux appareils de sécurité des chemins de fer : l'examen de ces appareils a offert un grand intérêt.

Les moteurs électriques et la transmission des forces qui composaient le programme de la septième séance a été développé, d'une manière très complète, par M. Frank Géraldy; il vous a parlé de cette remarquable découverte de M. Marcel Deprez, relative à la transmission des forces électriques, à distance, par la dérivation, sur le parcours de fils continus, de courants émanants d'une source unique. La longueur de ces fils est, au palais de l'Industrie, de 2 kilomètres, mais cette longueur sera, bientôt, de beaucoup dépassée.

La fabrication et la pose des câbles aériens, des câbles sous-marins et des fils de transmission, vous ont été décrites par MM. Berthon et Boistel (Georges) qui ont su donner à un sujet, en apparence ingrat, un intérêt tout particulier.

La neuvième conférence a été consacrée à la lumière électrique. Pour la troisième fois, M. Frank Géraldy, avec une complaisance infinie, avait bien voulu nous donner, encore, son utile concours.

Ici, le sujet était plein d'intérêt et d'actualité, aussi l'attente où vous étiez, d'une séance instructive, n'a pas été trompée.

M. Napoli a terminé cette séance par quelques considérations spéciales, sur les différents systèmes de lampes exposés.

Deux visites à l'Exposition ont été nécessaires pour examiner toutes les lampes merveilleuses que l'Exposition présente.

M. le docteur Moses, avec un grand empressement, vous a expliqué, dans tous ses détails, la construction de la lampe de M. Edison et de la machine dynamo-électrique qui les alimente, la plus puissante construite jusqu'ici.

La conférence sur le téléphonie et la microphonie a été faite par M. Berthon, ingénieur en chef de la Compagnie des téléphones, il vous a exposé, avec toute l'autorité de sa situation et de son expérience, les divers systèmes employés, depuis le téléphone Graham-Bell jusqu'à celui qui est aujourd'hui le plus perfectionné et dans lequel le microphone Ader sert de transmetteur.

La onzième séance comprenait l'électro-chimie et l'électro-métallurgie.

M. Douau vous a entretenus des procédés industriels employés dans la galvanoplastie industrielle et artistique. M. Marché vous a résumé ensuite, en quelques mots, une note de M. Létrange sur l'application de l'électricité à la métallurgie du zinc.

Enfin, dans cette douzième et dernière séance, M. Vaillant vient de vous présenter une nouvelle application de l'électricité, imaginée pour enregistrer, rapidement, le pesage des rations, dans le grenier de la Compagnie des Petites voitures, où il y a à faire, chaque jour, près de 240,000 pesées, pour la nourriture des 10,000 chevaux qu'elle entretient.

Je suis heureux, Messieurs, du résultat satisfaisant auquel nous sommes parvenus. L'essai que nous venons de mener à bien, et qui a consisté à faire participer tous les membres de la Société, à l'examen des merveilles de cette Exposition, par des conférences, par des visites et par les comptes rendus imprimés qui seront envoyés à tous, servira, je l'espère, de point de départ pour les Expositions ultérieures.

Je ne saurais trop remercier les personnes, étrangères à notre Société, qui se sont dévouées pour nous faire d'utiles conférences, ainsi que ceux de nos membres qui, comme eux, y ont pris une part active, je remercie également tous les membres qui y ont assisté.

En terminant, je suis, je n'en doute pas, Messieurs, votre interprète en remerciant, tout particulièrement, M. Marché, qui a été l'organisateur des ces réunions et qui en a assuré le succès.

M. Hamers se fait l'organe des auditeurs présents, et croit être l'interprète de toute la Société, en disant qu'elle doit beaucoup de reconnaissance à son Bureau, principalement à M. le Président et à M. Marché. Il présente à ces Messieurs, très sincèrement, de chaleureux remerciements.

La séance est levée à onze heures.

Notes sur la 12e Visite.

Cette dernière visite est consacrée à divers objets ne se rapportant pas à une classe déterminée; ces objets, sans avoir grande valeur au point de vue industriel, offrent certain intérêt au point de vue scientifique.

Canot électrique de M. Trouvé. — La force motrice est produite, soit par un accumulateur système Planté, soit par une pile au bichromate de Poggendorff, modifié dans sa forme par M. Trouvé. — Le moteur qui actionne l'hélice est d'une nature toute spéciale. Voici comment M. Trouvé en explique le principe : « Lorsqu'on trace le diagramme dynamique d'une bobine de Siemens, en lui faisant opérer une révolution complète entre les pôles magnétiques qui réagissent sur elle, on observe que le travail est presque nul pendant deux périodes assez grandes de la rotation. Ces deux périodes correspondent aux temps pendant lesquels les pôles cylindriques de la bobine, ayant atteint les pôles de l'aimant, défilent devant eux. Durant ces deux fractions de la révolution, qui sont chacune de trente degrés environ, les surfaces magnétiques destinées à réagir l'une sur l'autre restent à la même distance, la bobine n'est donc pas sollicitée à tourner, il en résulte une perte de travail.

J'ai supprimé ces périodes d'indifférence et accru l'effet utile de la machine en modifiant ainsi la bobine : Les faces polaires, au lieu d'être les portions d'un cylindre dont l'axe coïncide avec celui du système, sont en forme de « limaçon, » de telle sorte qu'en tournant elles approchent graduellement leurs surfaces de celles de l'aimant jusqu'au moment où le bord postérieur « échappe » le pôle de l'aimant. L'action de répulsion commence alors, de sorte que le point mort est pratiquement évité.

Le bateau a une longueur de 5m, 50 et une largeur de 1m, 20, il pèse 80 kilog.

Le poids des piles servant à la production de l'électricité est de 24 kilog. Le moteur donne 8 kilogrammètres et pèse 5 kilog.

Il peut contenir 3 voyageurs dont on peut estimer le poids à 240 kilog. Soit un poids total de 350 kilog. Dans ces conditions, les expériences faites sur la Seine les 26, 27 et 28 mai, en présence d'un grand nombre de notabilités scientifiques, ont montré que la vitesse a été de 1m, 50 par seconde à la remonte et de 2m, 50 à la descente.— La disposition générale du bateau est la suivante : les piles sont au milieu, le moteur à l'arrière sur le gouvernail lui-même; il est relié à l'hélice par une chaîne de Vaucanson.

Aérostat dirigeable de M. G. Tissandier. — Le ballon a une forme elliptique, le grand axe a $3^m,50$ de longueur, le petit axe $1^m,30$. — Le volume est de 2.200 litres gonflé d'hydrogène pur, la force ascensionnelle est de 2 kilog.

Le moteur qui actionne l'hélice est du type Trouvé, pesant 220 grammes. Le courant est engendré par un élément Planté de $1^k,300$. — La rotation est communiquée à une hélice à deux branches, de 40 centimètres de longueur, qui fait six tours et demi par seconde et qui, dans un air calme, communique au ballon une vitesse de 1 mètre par seconde, et cela pendant trois quarts d'heure environ.

D'après la communication faite par M. Tissandier à l'Académie des Sciences, les résultats obtenus sont les suivants : « Avec une seule pile et une vitesse de l'hélice de cinq tours par seconde, le travail du petit moteur équivalait à $0^{km},085$; avec deux batteries et douze tours, il produisait $0^{km},401$; et avec trois batteries, il atteignait $0^{km},959$.

Sasseur électrique de MM. Smith et Osborne. — Le sasseur a pour but de procéder à la séparation du son dans la farine de gruau. Il se base sur la différence d'attraction du son et des matières albumineuses soumises à l'influence d'un corps électrisé. Le son est attiré par les corps électrisés qui tournent et qui l'entraînent dans leur mouvement et le séparent ainsi de la farine.

L'appareil comprend :

Un tamis horizontal ayant un mouvement de va-et-vient, sur lequel tombe la farine brute; au-dessus sont placés 24 rouleaux de triages. — Ces cylindres sont en caoutchouc durci, ils ont 15 centimètres de diamètre et 25 centimètres de longueur, ils font trente à trente-cinq tours à la minute, ils sont électrisés par le frottement sur des peaux de mouton placées à leur partie supérieure. — Le son s'attache sur le cylindre, arrivé à la génératrice supérieure la peau de mouton joue le rôle de brosse, l'enlève et le fait passer dans des canaux latéraux. — La farine blanche reste sur le tamis. — On compte que vingt-quatre cylindres occupant une surface de 2 mètres carrés et exigeant une force motrice de un demi cheval vapeur, purifient par heure 300 kilogrammes de gruau.

TABLE DES MATIÈRES

DEUXIÈME SEMESTRE — ANNÉE 1881.

Paris. — Imp. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.